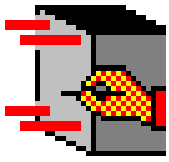
Manuel d’utilisation



ConCrete

© BuildSoft s.a.

Toute représentation ou reproduction, intégrale ou partielle, faite sans le consentement écrit de BuildSoft est illégale.

A l'achat du logiciel ConCrete, l'utilisateur acquiert une licence d'exploitation. Toute transmission, en tout ou en partie, de la présente licence à des tiers est interdite sans accord écrit de BuildSoft.

La société BuildSoft ne pourra en aucun cas être tenue pour responsable des préjudices directs ou indirects, de quelque nature que ce soit, résultant d'une imperfection dans le programme ou le manuel.

TABLE DES MATIERES

TABLE DES MATIERES 1

CHAPITRE 1 Introduction 5

1.1. Matériel requis 6

1.2. Installation de ConCrete 6

1.3. ConCrete, les autres modules 6

CHAPITRE 2 Une premiére poutre 7

2.1. Introduction 8

2.2. Création d'un nouveau projet 8

2.3. Création d'un nouvel élément 9

2.4. Interprétation des résultats générés 11

2.4.1. Fenêtre "Structure & charges" 12

2.4.2. Fenêtre "Diagrammes des efforts" 13

2.4.3. Fenêtre "Croquis d'armatures" 14

2.5. Modification des données introduites 16

2.5.1. Changement direct des données introduites 16

2.5.2. Modifier à l'aide de la touche droite de la souris 19

CHAPITRE 3 Une deuxiéme poutre dans le projet 22

3.1. La fenêtre Liste de projet 23

3.2. Charges ponctuelles et charges trapézoïdales 23

3.2.1. La charge trapézoïdale 23

3.2.2. La charge ponctuelle 25

3.2.3. Modifier le nombre de zones d'une portée 26

3.2.3.1. Changement direct des données introduites 26

3.2.3.2. Modifier à l'aide de la touche droite de la souris 28

3.3. Ajout de moments 29

3.4. Poutre à section variable 30

CHAPITRE 4 Paramétres de calcul 35

4.1. Valeurs du dossier 36

4.2. Paramétres de l'acier 37

4.3. Paramètres du béton 39
4.4. Paramètres d'appuis 42
4.5. Paramètres de la réduction des moments 43
4.6. Paramètres des charges 46

CHAPITRE 5 Plusieurs types de charge 50
5.1. Introduction 51
5.2. Poutre à deux types de charge 51
5.3. Ajouter et enlever des types de charges 53
5.3.1. Changement direct des données introduites 53
5.3.2. Modifier à l'aide de la touche droite de la souris 54

CHAPITRE 6 Un projet complet de poutres 55
6.1. Introduction 56
6.2. Définition des classes 57
6.2.1. Choisir des classes 57
6.2.2. Introduire les classes 57
6.2.3. La liste de projet 59
6.3. Placement d'un élément dans une classe particulière 60
6.4. Rappel d'un élément figurant dans une classe particulière 60
6.5. Déplacement d'un élément vers une autre classe 60
6.6. Duplication d'un élément 60
6.7. Suppression d'un élément 61
6.8. Modification des éléments figurant dans différentes classes 61
6.9. Duplication des éléments entre différents projets 61

CHAPITRE 7 Poutres spéciales 62
7.1. Poutres de sections T, I, L et Z 63
7.2. Poutres sur sol élastique 66
7.3. Poutres en deux phases 68
7.4. Dalles coulées en deux phases 69
7.5. La bibliothèque des hourdis 69

CHAPITRE 8 Enregistrer, ouvrir et fermer 71
8.1. Enregistrement d'un nouveau projet 72
8.2. Ouverture d'un projet existant 72
8.3. Enregistrement d'un projet existant 72

8.4. Sauvegarde automatique ... 73
8.5. Fermeture d'un projet ... 74
8.6. Modification des données du dossier ... 74
8.7. Arrêt du programme ... 74

CHAPITRE 9 Imprimer ... 75
9.1. Mise en page et options d'impression ... 76
9.2. Impression de l'intégralité d'un projet ... 76
9.3. Impression de l'intégralité d'une classe ... 77
9.4. Impression d'un seul élément ... 77

CHAPITRE 10 Astuces ... 78
10.1. Calcul automatique ... 79
10.2. Sons d'administration ... 79
10.3. Liaisons avec ConCrete Plus ... 79
10.4. Affichage des diagrammes des autres efforts et/ou états-limites ... 81
10.5. Convention de signes pour le moment et l'effort tranchant ... 83
10.6. Zoom d'un diagramme des efforts dans une zone ... 84
10.6.1. Effectuer un zoom ... 84
10.6.2. Passer à un autre diagramme des efforts ... 85
10.6.3. Obtenir les valeurs en à un endroit précis ... 85
10.7. Utilisation du menu "Edition" ... 86
10.8. Méthode de calcul ... 86
10.9. Vérification ... 87
10.10. Sauvegarder et ouvrir ses propres valeurs de préférence ... 88
10.11. L'environnement de travail de ConCrete ... 88

CHAPITRE 11 Aperçu des menus ... 90
11.1. Menu "Fichier" ... 91
11.2. Menu "Edition" ... 91
11.3. Menu "Elément" ... 92
11.4. Menu "Fenêtre" ... 92
11.5. Menu "Préférences" ... 93
11.6. Menu "Aide" ... 94

CHAPITRE 12 Méthode de calcul ... 95
12.1. Calcul statique ... 96

12.2. Calcul organique 97
12.2.1. Etats-limites ultimes 97
12.2.1.1.Diagramme contraintes-déformations du béton et de l'acier 97
12.2.1.2. Flexion simple 97
12.2.1.3. Effort tranchant 98
12.2.1.4. Armature transversale dans les membrures 100
12.2.2. Etats limites de service 102
12.2.2.1. Diagramme contraintes-déformations du béton et de l'acier 102
12.2.2.2. Limitation des contraintes de compression du béton 102
12.2.2.3. Déformation à l'état de fissuration 102
12.2.2.4. Calcul des ouvertures des fissures 103
12.2.3. Armatures minimales 104
12.2.3.1. Armature longitudinale 104
12.2.3.2. Effort tranchant 104

CHAPITRE 1 Introduction

1.1. Matériel requis

ConCrete nécessite un environnement Windows (98, NT ou plus récent) sur un PC ayant au moins un processeur pentium (ou équivalent) et 128MB de RAM.

1.2. Installation de ConCrete

Deux possibilités s'offrent à vous à l'heure actuelle: soit vous installez à partir d'un CD-Rom fourni par la société BuildSoft s.a., soit vous téléchargez ConCrete via Internet sur le site de BuildSoft s.a. dont l'adresse d'accès est la suivante: www.buildsoft.eu

Si vous acceptez tous les paramètres par défaut lors de l'installation, le logiciel ConCrete s'installera dans le répertoire suivant:
C:\ProgramFiles\Buildsoft\ConCrete. C'est à cet endroit que les fichiers générés par le logiciel viendront s'enregistrer si vous ne spécifiez aucun autre répertoire.

1.3. ConCrete, les autres modules

Le logiciel ConCrete fait partie d'un ensemble de trois programmes qui vous permet de maîtriser toute la conception d'éléments en béton armé.

Le module ConCrete effectue automatiquement les calculs statiques et organiques des poutres et des dalles continues (porteuses dans une seule et même direction) en béton armé, soumises à la flexion simple.

Le module ConCrete Plus utilise ces résultats pour la production des plans de ferraillage et des bordereaux des barres d'acier utilisées pour l'armaturage.

CHAPITRE 2 Une premiére poutre

2.1. Introduction

A l'aide d'un simple exemple, nous allons vous initier progressivement au fonctionnement du logiciel ConCrete. Nous prendrons comme exemple une poutre à une seule portée:

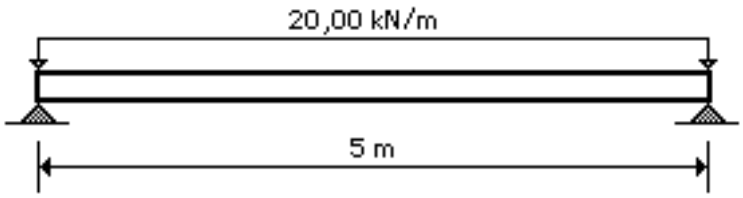


Figure 1: Premier exemple

La poutre a une longueur de 5 mètres, sur laquelle s'applique une charge uniformément répartie de q = 20 kN/m. La largeur de la poutre est fixée à 190 mm et sa hauteur à 450 mm.

***Note*: Les résultats de ce premier exemple peuvent différer selon la norme choisie. Tous les exemples dans ce manuel sont calculées selon la norme EN 1992 1-1 (Annexe nationale B). Paragraphe 10.8 vous explique comment modifier la norme de calcul.**

2.2. Création d'un nouveau projet

Lorsque le programme ConCrete est chargé, sélectionnez la commande "**Nouveau...**" dans le menu "**Fichier**".

Une fenêtre apparaît alors à l'écran vous permettant d'encoder les principales données administratives de votre projet (Figure 2), à savoir: un code de référence pour le projet, les coordonnées (nom, adresse, etc...) du projet, du maître de l'ouvrage, de l'architecte, de l'entrepreneur et de l'ingénieur.

Pour plus de détails sur les quatre boutons figurant dans le bas de la fenêtre, nous vous renvoyons au point 4.1.

Pour quitter cette fenêtre de dialogue, positionnez le pointeur de la souris sur le bouton "**OK**" et cliquez sur le bouton ou sélectionnez le bouton "**OK**" et appuyez sur la touche ENTER ou RETURN.

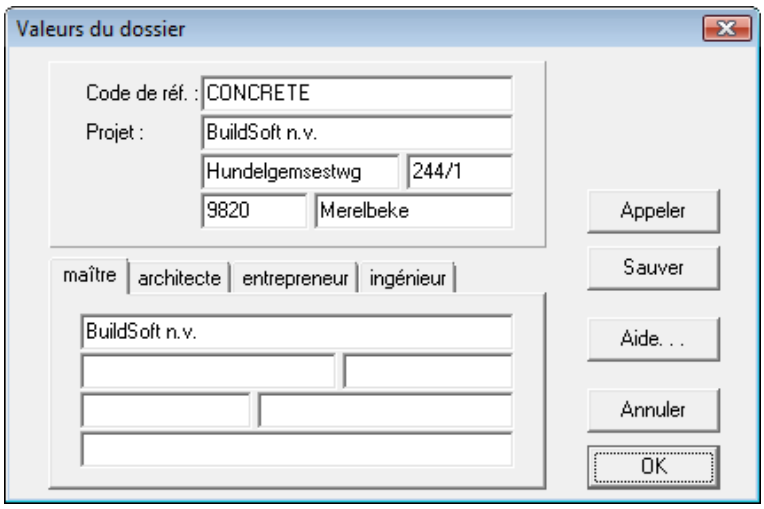


Figure 2: Données du dossier

Nous voyons alors apparaître à la gauche de l'écran deux palettes (Figure 3 et Figure 4) en-dessous desquelles s'ouvre une fenêtre portant le code de référence, dans ce cas-ci "CONCRETE", et contenant une liste des classes. Nous appellerons désormais cette fenêtre, la fenêtre **Liste de projet**:

Figure 3: Palette 1

Figure 4: Palette 2

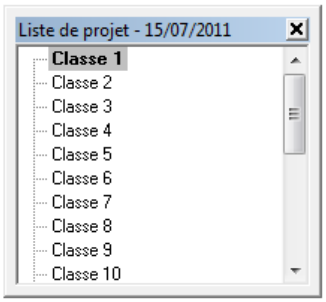


Figure 5:Liste de projet

2.3. Création d'un nouvel élément

Il vous est maintenant possible de sélectionner le menu "**Elément**" dans la barre de menu. Dans ce menu, sélectionnez la commande "**Nouvelle poutre**" ou cliquez sur l'icône dans la barre d'icônes.

Une **barre d'entrée** s'affiche en haut de l'écran, portant la mention "n° de la poutre?":

Figure 6: Code poutre

Quatre autres fenêtres sont également affichées, intitulées respectivement "**Structure & charges**", "**Diagramme des efforts**", "**Croquis d'armatures**" et "**Vérification**". Les trois dernières fenêtres sont vides, par contre la fenêtre "**Structure & charges**" contient déjà quelques informations:

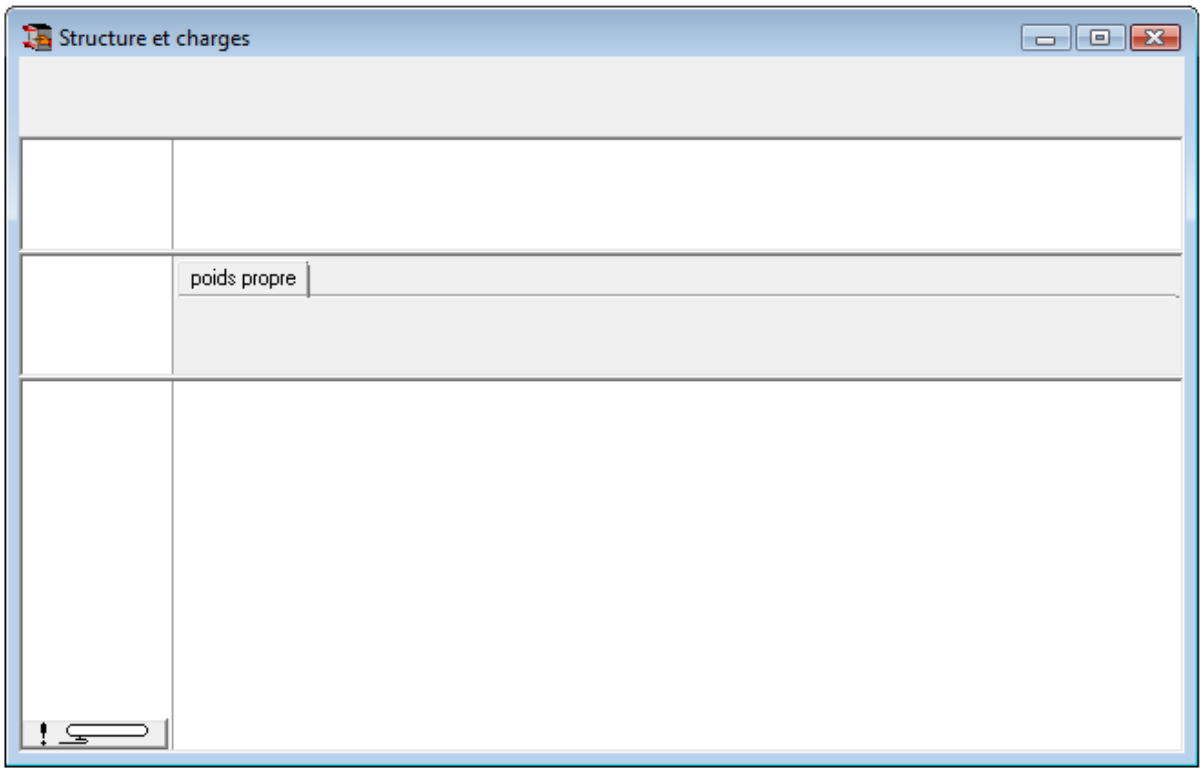


Figure 7: Structure & charges

Il est possible que la fenêtre "**Croquis d'armatures**" se trouve derrière celle intitulée "**Diagrammes des efforts**". Si vous souhaitez afficher la première en avant-plan, sélectionnez la commande "**Croquis d'armatures**" dans le menu "**Fenêtre**".

Nous allons maintenant introduire une à une les données nécessaires à notre exemple. Vous devez, pour ce faire, répondre aux diverses questions qui s'affichent dans la barre d'entrée.

A la première question, "code de la poutre", le mot "code" ne doit pas être interprété au sens strict du terme. En effet, ce dernier peut contenir des caractères autres que des chiffres. Le nombre de caractères est cependant limité à 256. Nous introduirons, dans le cadre de cet exemple, la séquence "1" comme numéro de poutre. Pour ce faire, tapez les caractères "1" à l'aide du clavier et pressez ensuite la touche ENTER ou RETURN. Le mot "1" s'affiche alors à l'endroit réservé à cet effet dans la fenêtre "**Structure & charges**". Le programme vous demande ensuite d'introduire le nombre de portées. Tapez le chiffre "1" (n'oubliez de

confirmer cette valeur à l'aide de la touche ENTER ou RETURN !). Procédez de même pour la largeur et la hauteur de la poutre (attention aux unités utilisées !). Répondez à la question "Nombre de types de charges" en tapant à nouveau le chiffre "1". Lorsque la longueur de la première - et, par ailleurs, de la seule - portée ("5" m.) est introduite, l'appui gauche se dessine dans la fenêtre "**Structure & charges**":

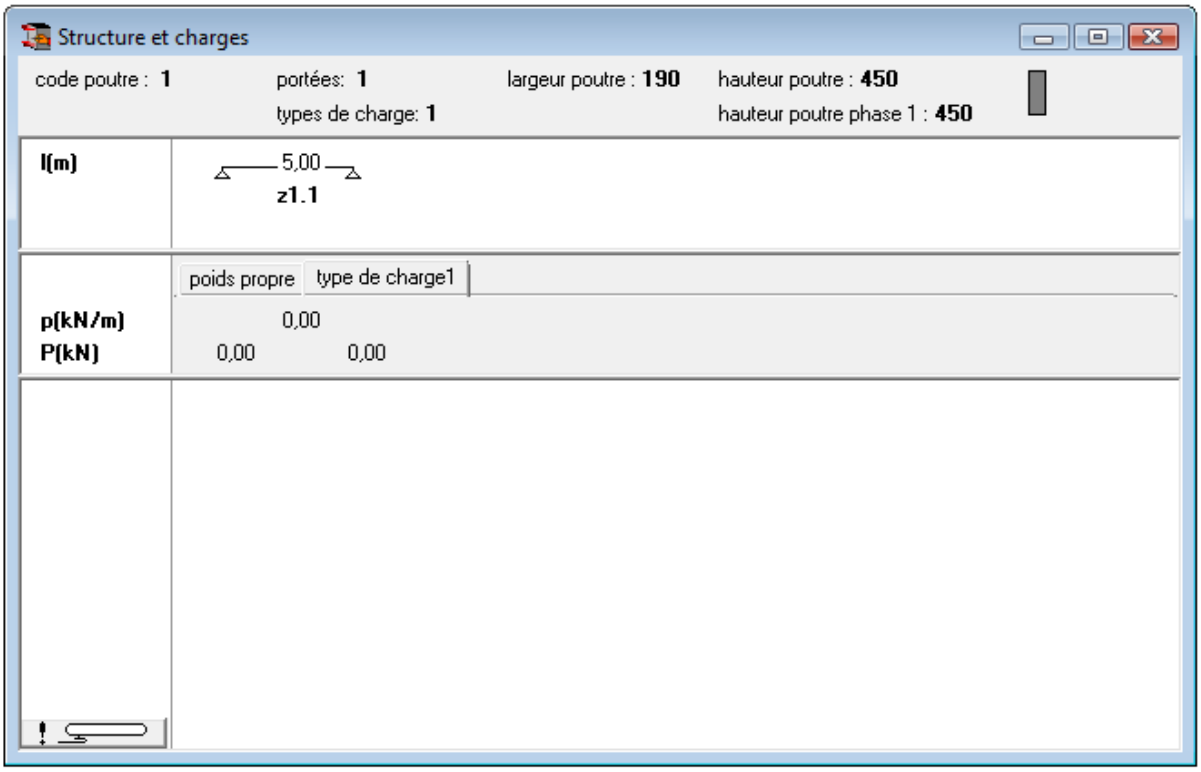


Figure 8: Structure & charges – introduction

A la question "Nombre de zones dans la 1° portée ?" , le programme propose par défaut, la valeur "1". Confirmez cette valeur en appuyant sur la touche ENTER ou RETURN. Tapez ensuite la valeur "20" à la question "Valeur de la charge répartie n° 1 dans la zone z1 .1 ? (kN/m)". Dès que la touche ENTER ou RETURN est pressée, le programme calcule automatiquement la poutre. Les fenêtres "**Structure & charges**", "**Diagrammes des efforts**" et "**Croquis d'armatures**" sont mises à jour et indiquent les résultats des différents calculs. La fenêtre "**Vérification**" reste vide; dans cette fenêtre, les résultats du calcul de vérification seront affichées (cette vérification n'est possible qu'après la détermination des diamètres dans le module ConCrete Plus, voir 10.9). La barre d'entrée affiche alors "La poutre est calculée".

2.4. Interprétation des résultats générés

Les résultats de calcul sont répartis entre les fenêtres "**Structure & charges**", "**Diagrammes des efforts**" et "**Croquis d'armatures**".

2.4.1. Fenêtre "Structure & charges"

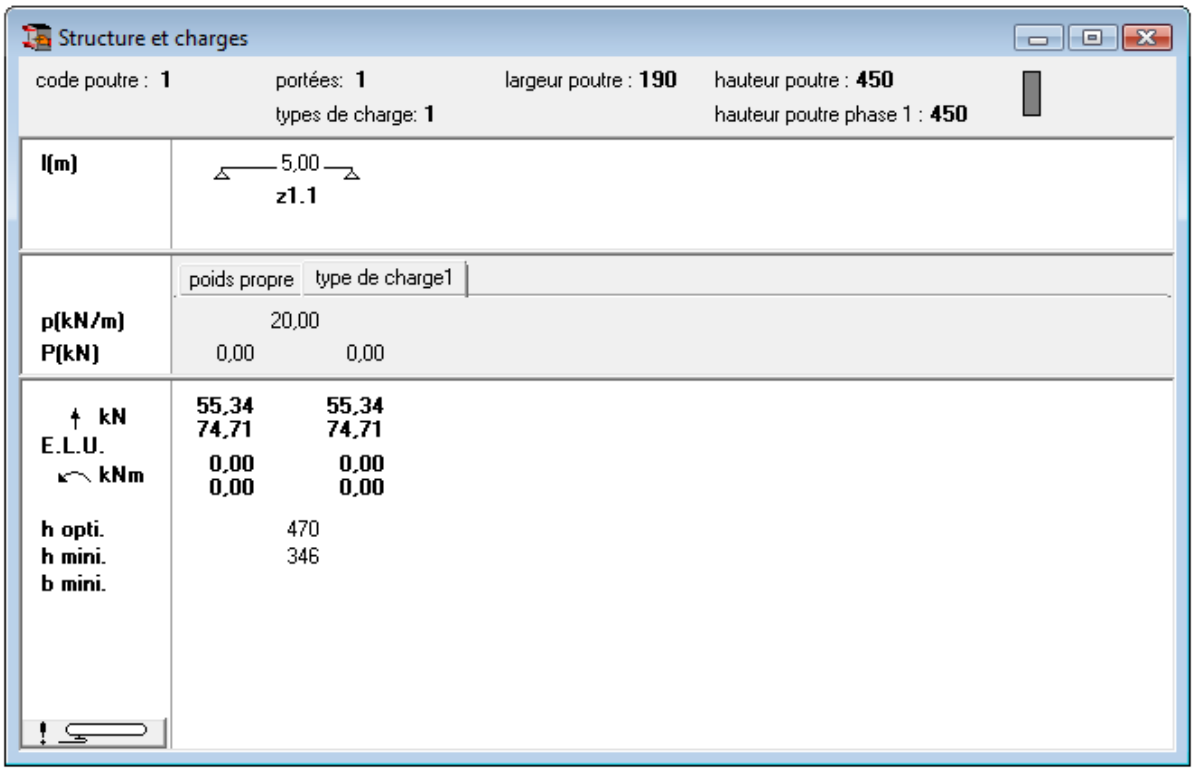


Figure 9: Structure & charges - les résultats

Par un simple clic sur l'icône , la fenêtre 'Structure & charges' apparaît. Dans cette fenêtre (Figure 9) sont indiquées les **réactions verticales** minimales et maximales pour l'**état-limite ultime** (E.L.U.) de chaque point d'appui. Les réactions orientées vers le haut sont considérées comme étant positives. Les valeurs minimales et maximales sont dans ce cas-ci 55.34 et 74.71 kN. Ces valeurs sont le résultat de la réaction générée à la suite de la charge introduite et du poids propre (25 kN/m³). La valeur minimale est obtenue en appliquant sur les deux actions un coefficient de charge égale à 1.0 (le coefficient pour des charges permanentes avec action favorable). La valeur de 55.34 kN peut être expliquée comme suit:

$$(20 + 25 \cdot 0.19 \cdot 0.45)\, kN/m \cdot 5m / 2 = 55.34\, kN$$

La valeur maximale est obtenue en appliquant sur les deux actions un coefficient de charge égale à 1.35 (le coefficient pour des charges permanentes avec action défavorable). La valeur de 74.71 kN peut être expliquée comme suit:

$$1.35 \cdot (20 + 25 \cdot 0.19 \cdot 0.45) kN/m \cdot 5m /2 = 74.71\, kN$$

Sous les réactions verticales, se trouvent les **réactions d'encastrement** minimales et maximales en E.L.U. de chaque point d'appui: les valeurs minimales et maximales sont ici de 0.00 kNm étant donné que nous avons affaire à des appuis libres. Les réactions, agissant dans le sens trigonométrique, sont positives.

Les trois lignes situées en-dessous des réactions d'encastrement indiquent des informations relatives au **dimensionnement** de la poutre pour l'**état-limite ultime**. La première ligne "h. opti." affiche la hauteur optimale, soit la valeur 470 exprimée en mm. Par **hauteur optimale**, on entend la hauteur à laquelle travaille le béton à une déformation de 3.5‰ et l'acier à un allongement 10‰, c.-à-d. la hauteur à laquelle ces deux composants du béton sont sollicités de manière optimale (voir 12.2.1). Sur la ligne suivante, est affichée la hauteur minimale, dans ce cas 346mm. La **hauteur minimale** est la hauteur de poutre pour laquelle la contrainte de l'acier en traction reste égale à la limite d'élasticité sans addition d'armature de compression; c.-à-d. que si nous mettons une hauteur moindre, il faut ajouter de l'amature de compression pour rester en dessous de la limite d'élasticité. Les deux valeurs mentionnées ci-dessus sont affichées dans la fenêtre "**Structures & charges**" lorsque la hauteur spécifiée est inférieure à la hauteur optimale. Elles ne sont déterminées que par les moments, du moins pour les poutres.

Dans le cas où la section n'est pas suffisante pour résister à l'effort tranchant, la troisième ligne indique, pour les poutres au moins, la **largeur minimale**. La largeur minimale est la largeur à laquelle les bielles de compression ont failli s'écraser conformément à la théorie des treillis de Mörsch. Pour les dalles, ConCrete tient compte de la section minimale des bielles de compression dans le calcul de la hauteur minimale.

Nous tenons à attirer votre attention sur le fait que les notions d'hauteur optimale et d'hauteur et de largeur minimale se rapportent à l'**état limite ultime**. Plus loin, nous verrons comment ConCrete tient compte des **états limites de service**.

2.4.2. Fenêtre "Diagrammes des efforts"

Cette fenêtre (Figure 10) affiche, outre une représentation schématique du cas de charge, les diagrammes des efforts tranchants et des moments fléchissants à l'état limite ultime et le diagramme des quantités requises d'armature inférieure et supérieure. A la droite de chaque

diagramme, les valeurs extrêmes positives et négatives sont affichées, accompagnées de leurs unités. Nous verrons plus loin dans ce manuel (v. 10.4) comment afficher les autres diagrammes dans cette même fenêtre et comment modifier les signes conventionnels de l'effort tranchant V et du moment fléchissant M (v. 10.5).

Le diagramme des armatures tient compte d'un déplacement des moments fléchissants sur une distance de a = z . (cot θ – cot α) / 2. Toute armature de compression est indiquée en rouge et en valeur négative; la ligne noire interrompue représente les quantités d'aciers en traction qui ne satisfont qu'à l'état limite ultime; la ligne noire ininterrompue représente les quantités d'aciers en traction qui satisfont aussi à l'état limite de service concernant les contraintes du béton. Les lignes horizontales interrompues (avec indication 117) représentent la section minimale de l'armature principale (ici correspondant à un pourcentage $\rho = 0.0015$).

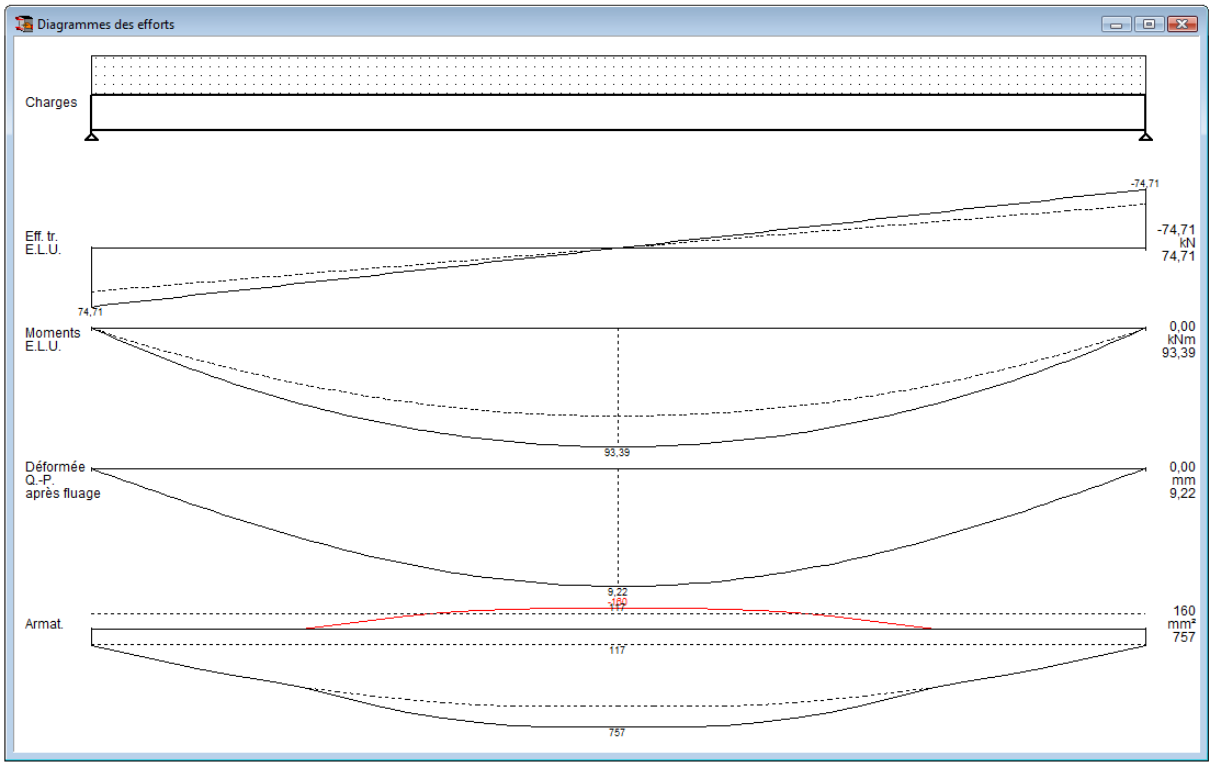


Figure 10: Diagrammes des efforts

2.4.3. Fenêtre "Croquis d'armatures"

Si cette fenêtre se trouve derrière celle intitulée "**Diagrammes des efforts**", sélectionnez la commande "**Croquis d'armatures**" dans le menu "**Fenêtre**" ou cliquez sur . Cette fenêtre (Figure 11) affiche une vue longitudinale de la poutre et de ses armatures:

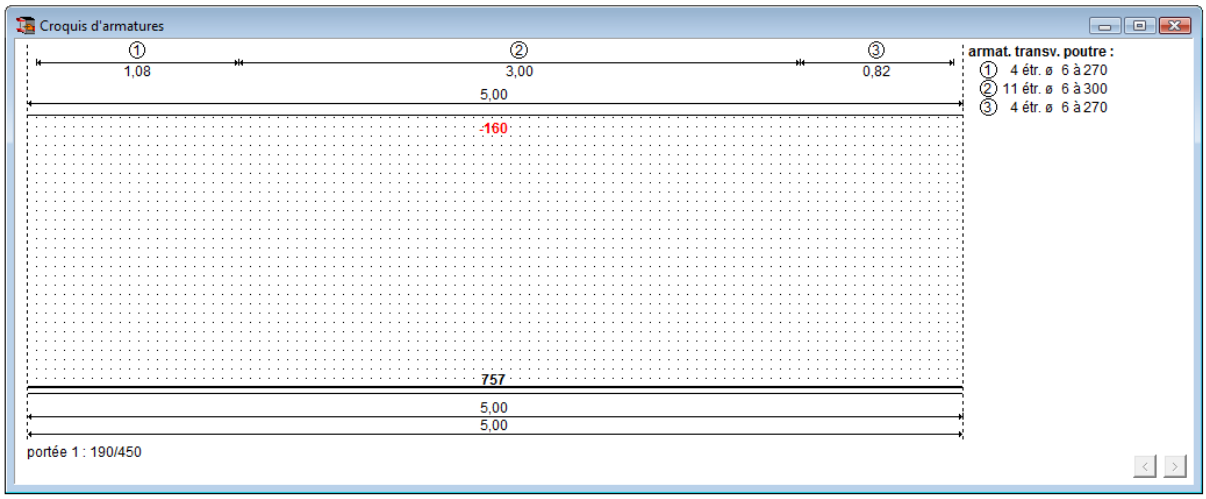


Figure 11: Croquis d'armatures

Au-dessus de l'esquisse de la poutre, se trouve une ligne de cotes surmontée des chiffres entourés "1", "2" et "3" en-dessous desquels figurent les nombres "1.08", "3.00" et "0.82". Ces valeurs doivent être interprétées comme suit: les chiffres entourés ont trait aux étriers et constituent les références des informations affichées à la droite de la poutre. Les nombres se trouvant sous la ligne indiquent les distances, exprimées en m, auxquelles doivent être placés les étriers. Les informations affichées à la droite de l'écran, "4 étr. ø 6 à 270", indiquent qu'il convient de prévoir pour la longueur spécifiée, 4 étriers de diamètre 6 mm placés tous les 270 mm.

Dans le programme ConCrete, nous supposons que le premier et le dernier étrier sont placés respectivement à 5 cm de l'appui gauche et à 5 cm de l'appui droit. S'il existe plusieurs **zones d'étriers** (elles sont au nombre de 3 dans l'exemple présent), la position des flèches au début et à la fin des zones est défini comme suit: la flèche gauche d'une zone indique la position du premier étrier de cette zone lorsque la zone précédente est pourvue d'une armature transversale plus lourde ; la flèche droite indique, quant à elle, la position du dernier étrier lorsque la zone suivante nécessite une armature transversale plus lourde. Dans notre exemple, les flèches sont situées entre les zones 1-2 et 2-3 et représentent donc, la position respective du premier et dernier étrier de la deuxième zone.

L'aire de la section d'armature longitudinale est exprimée en mm². Les parties de poutre qui nécessitent une armature inférieure pour l'**état limite ultime** sont indiquées par une ligne grasse tracée au-dessus du trait inférieur de la poutre ; celles requérant une armature supérieure sont indiquées par une ligne grasse tracée en-dessous du trait supérieur de la poutre. Les endroits où commencent et se terminent ces lignes

grasses sont les endroits où le diagramme déplacé des moments fléchissants ne requient plus d'armature (voir 2.4.3). Si nous souhaitons déterminer les longueurs des barres longitudinales, nous devons encore tenir compte des longueurs d'ancrage. Cette procédure est automatique dans le logiciel ConCrete Plus. Ces informations nous permettent de lire facilement l'armature représentée dans la fenêtre "**Croquis d'armatures**".

Dans notre exemple, nous n'avons besoin que d'une armature inférieure sur toute la longueur de la poutre pour l'état limite ultime. La section maximale dont nous avons besoin est de 757 mm². La section négative -160mm², indiquée en rouge, signifie que nous avons besoin d'une armature de compression de 160 mm² au niveau supérieur pour satisfaire à **l'état limite de service concernant les contraintes du béton**.

2.5. Modification des données introduites

2.5.1. Changement direct des données introduites

Parmi les nombreux avantages qu'offre ConCrete, il convient de mentionner la souplesse avec laquelle les données introduites peuvent être modifiées. Ainsi, toutes les données introduites au point 2.3 peuvent être modifiées à tout moment en cliquant à l'aide de la souris, la valeur à modifier dans la fenêtre "**Structure & charges**".

Des exceptions à ce règle sont le nombre de portées, qu'on ne peut modifier qu'avant l'entrée des données de la deuxième portée ou après que l'entrée de toutes les données est terminée, le nombre de cas de charges, qu'on ne peut modifier tant que l'entrée des données de la deuxième type de charge n'est pas encore commencée ou après que l'entrée de toutes les données soit terminée, et le nombre de zones, qu'on ne peut modifier qu'après que l'entrée de toutes les données soit terminée.

Si, par exemple, vous souhaitez passer la portée de 5 à 4.95m, sélectionnez la valeur "5.00" dans la fenêtre "**Structure & charges**". Lorsque vous avez sélectionné cette valeur, cette dernière apparaît dans un cadre et la barre d'entrée affiche simultanément cette valeur avec la question "longueur de la 1° portée ? (m)" (Figure 1 2):

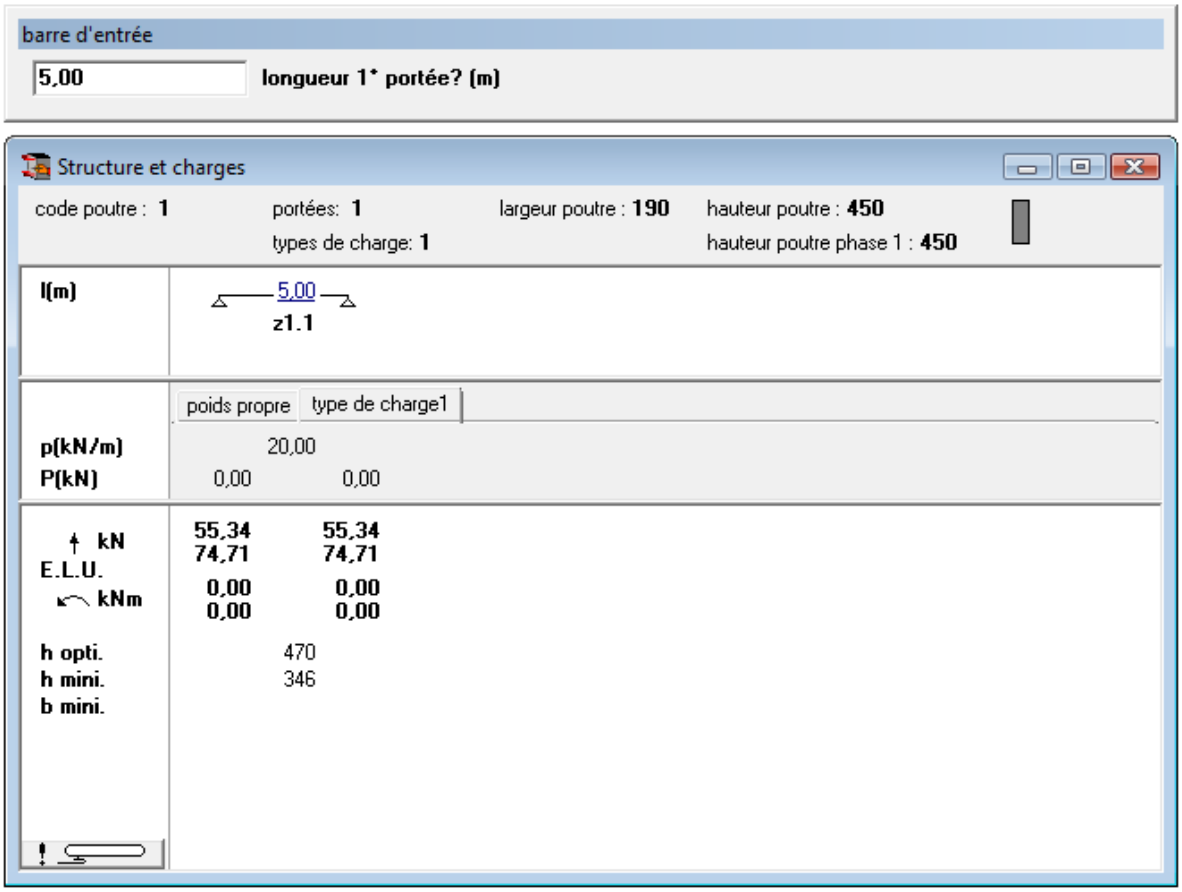


Figure 12: Modifier la longueur de la portée

Tapez au clavier la valeur "4.95" et confirmez la nouvelle valeur en pressant la touche ENTER ou RETURN. Dès que cette touche a été pressée, la poutre est automatiquement recalculée et les résultats sont mis à jour. Vous constaterez, par exemple, que la section nécessaire de l'armature inférieure est passée de 757 mm² à 727 mm² et qu'il ne faut plus d'armature de compression. Si nous modifions de façon analogue la hauteur de la poutre de 450 mm à 500 mm, la section de l'armature inférieure sera alors de 516 mm².

La souplesse avec laquelle il est possible de modifier les données, nous permet d'utiliser ConCrete pour procéder à de véritables **dimensionnements**. En effet, si nous introduisons une valeur arbitrairement basse pour la largeur et la hauteur de la poutre, le logiciel nous indiquera, après calcul, les valeurs minimales et maximales nécessaires. Il suffit alors de remplacer les valeurs initiales par des valeurs supérieures, tout en tenant compte des valeurs minimales et optimales, pour obtenir une section qui ne soit ni trop grande, ni trop petite.

Quand vous modifiez le nombre des portées, ConCrete vous demande des informations supplémentaires: dans le cas où le nombre nouveau est plus grand, il faudra indiquer où ajouter des portées (Figure 13); dans l'autre cas, il faudra indiquer quelles portées doivent être supprimées (Figure 14).

Si on ajoute une portée avant la première portée, la portée ajoutée est une copie de la première portée; dans tous les autres cas, la portée ajoutée est une copie de la portée précédente.

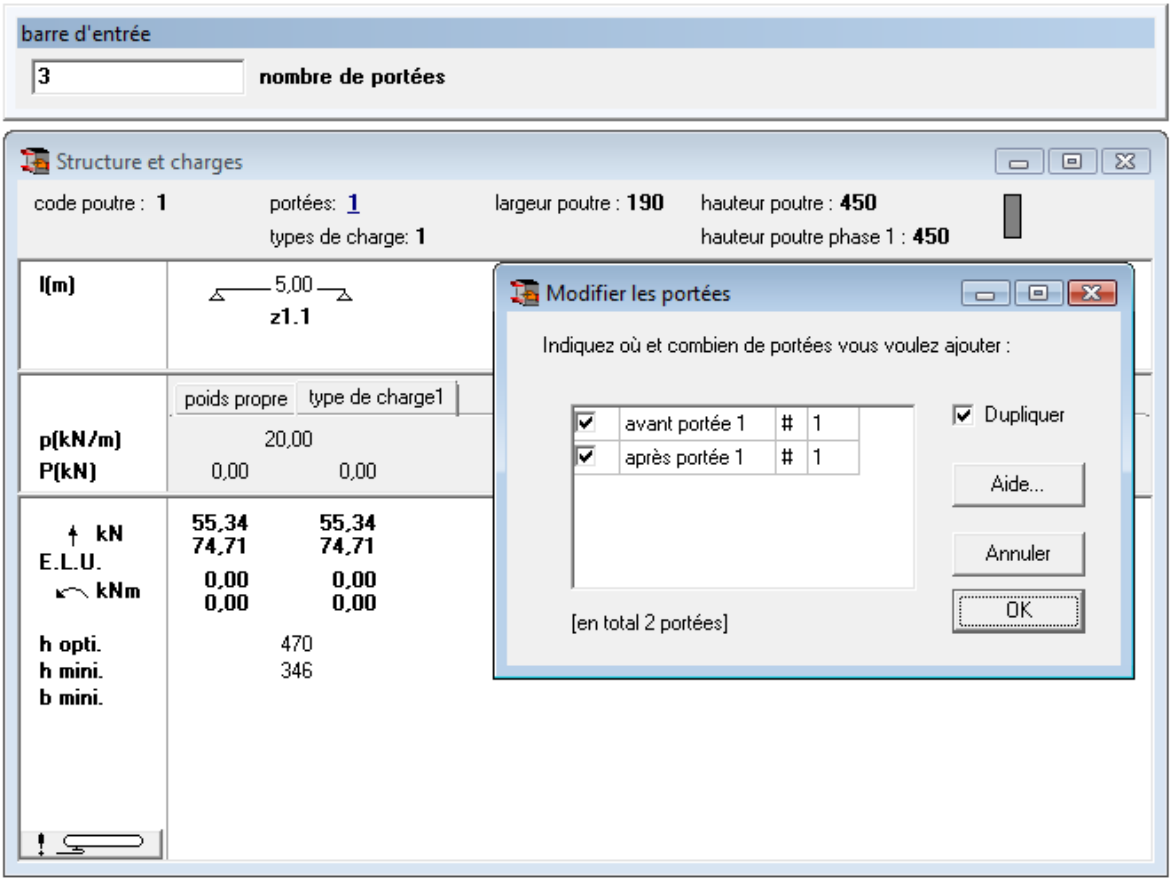


Figure 13: Ajouter des portées

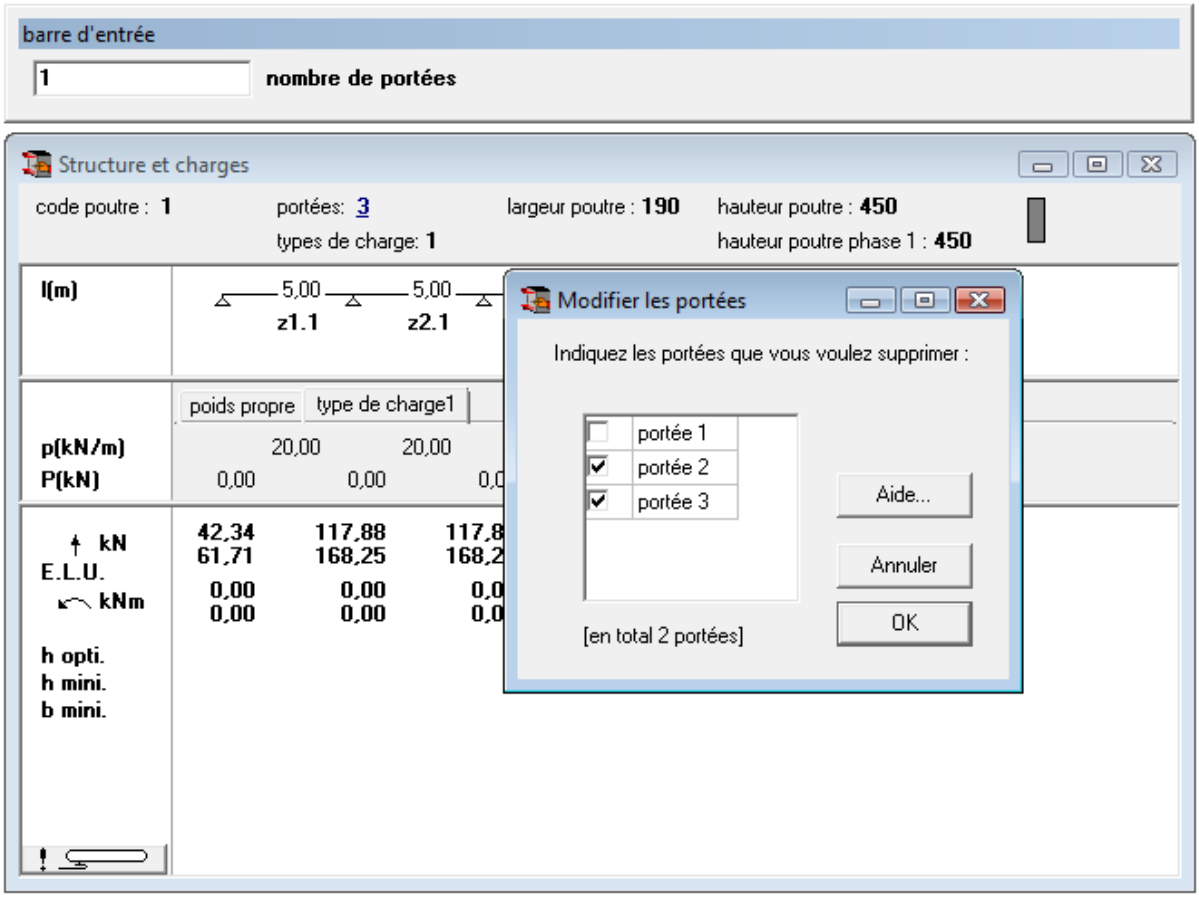


Figure 14: Supprimer des portées

2.5.2. Modifier à l'aide de la touche droite de la souris

Voici une deuxième méthode pour modifier les valeurs introduites:

Cliquez avec le bouton droit de la souris l'indication de la longueur de la travée pour voir apparaître un menu flottant:

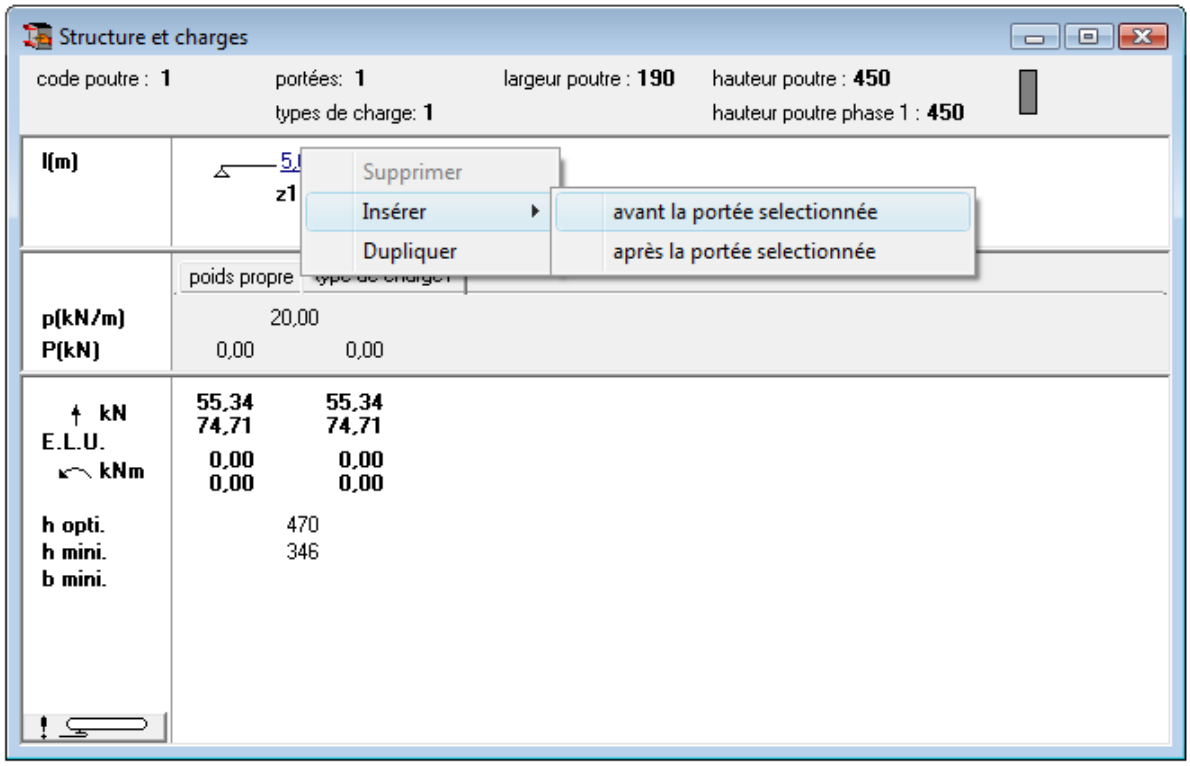


Figure 15: Menu flottant: travée

'**Supprimer**' vous permet de supprimer cette travée, pour autant qu'il s'agisse d'une poutre à plusieurs travées.

'**Insérer**' permet d'ajouter une travée et '**Dupliquer**' d'ajouter une copie de la travée.

Une fonction similaire existe aussi pour la modification ou la définition des charges. On peut soit modifier les valeurs une à une en cliquant dessus, soit utiliser le bouton droit de la souris pour copier la valeur pointue sur les travées de gauche, ou sur les travées de droit, ou encore sur toutes les travées.

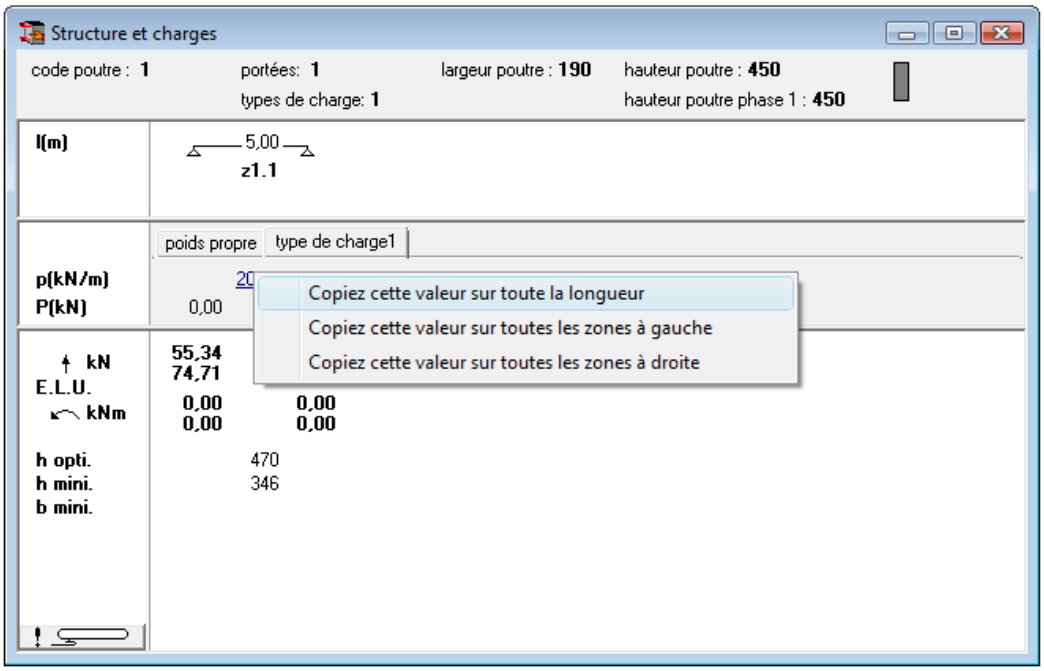


Figure 16: Menu flottant: copier des charges

Les conséquences liées à une modification du nombre de type de charges (v. 5.3) ou du nombre de zone (v. 3.2) seront traitées plus loin dans ce manuel.

CHAPITRE 3
Une deuxiéme poutre dans le projet

3.1. La fenêtre Liste de projet

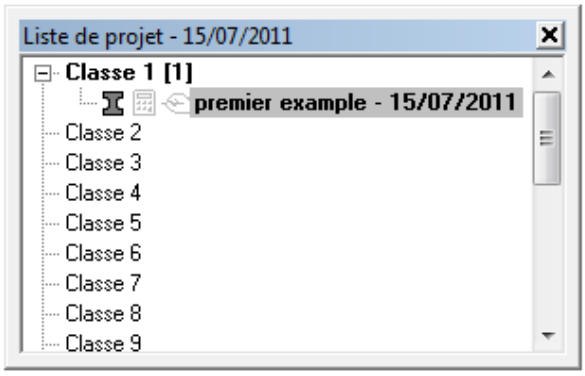


Figure 17: La liste de projet avec un premier élément

Pour créer une deuxième poutre, sélectionnez dans le menu "**Elément**" la commande "**Nouvelle poutre**".

Voir Chapitre 6 pour les détails de la liste de projet.

3.2. Charges ponctuelles et charges trapézoïdales

Nous avons appris au chapitre 2 comment entrer une poutre ayant une seule portée et une charge uniformément répartie et comment calculer cette dernière. Nous allons maintenant introduire une poutre à deux portées, chargée de manière plus complexe (Figure 18). La largeur de la poutre est fixée à 190 mm, la hauteur à 450 mm.

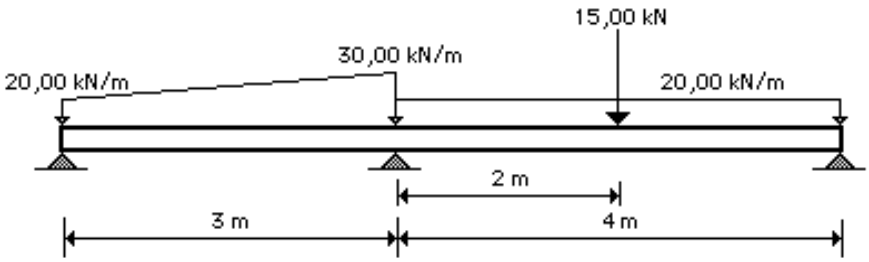


Figure 18: Deuxième exemple

La procédure d'introduction des données est identique à celle décrite au chapitre 2, si ce n'est qu'il convient ici de taper le chiffre "2" pour le nombre de portées.

3.2.1. La charge trapézoïdale

Pour spécifier une **charge trapézoïdale**, procédez comme suit: dans la deuxième palette représentée à la Figure 4, sélectionnez le deuxième

icône à l'aide de la souris. Lorsque le bouton de la souris est pressé, un menu d'options (Figure 19, Figure 4) est affiché. Sélectionnez alors "**charges trapézoïdales**" afin d'entrer des charges de ce type. Une ligne apparaît dans la fenêtre "**Structure & charges**" (Figure 20). Les valeurs initiales des charges réparties seront entrées sur la ligne "p1(kN/m)" affichée dans la marge gauche de la fenêtre ; les valeurs finales, sur la ligne "p2(kN/m)".

Figure 19: Palette 'Données d'entrée' – Bouton charges

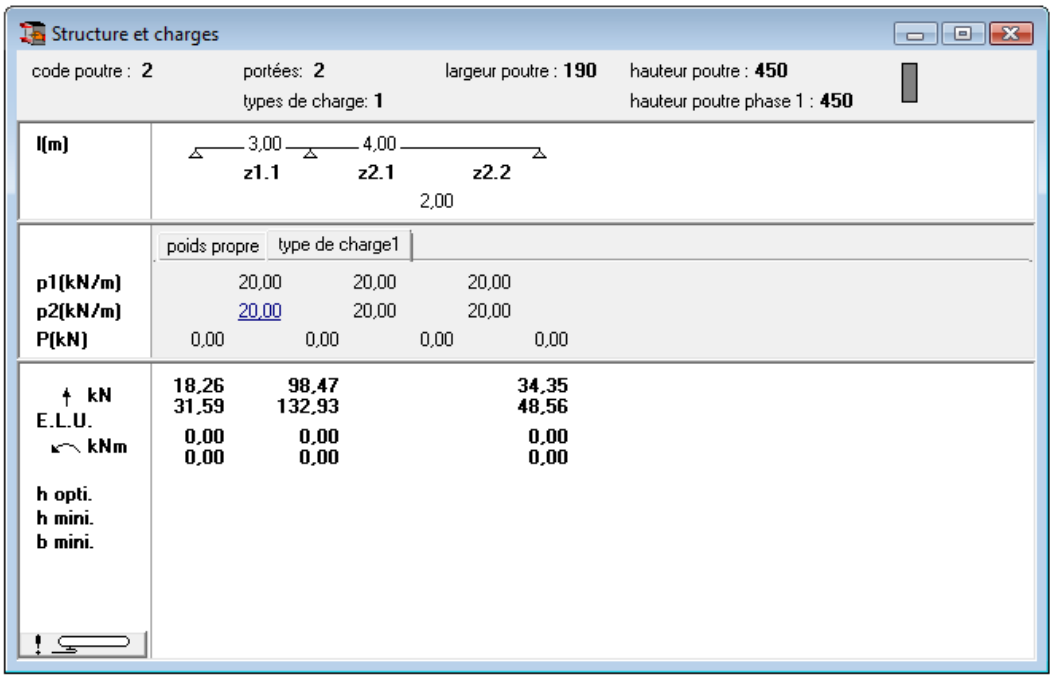


Figure 20: Structure & charges - charges réparties

Lorsque vous introduisez ces données, le programme vous pose deux questions relatives aux valeurs, à savoir "Valeur initiale de la charge répartie n°1 dans la zone z1.1 ? (kN/m)" et "Valeur finale de la charge répartie n°1 dans la zone z1.1 ? (kN/m)".

Il est important que vous sachiez que vous pouvez modifier cette option à tout moment. Par conséquent, lorsque vous avez introduit une poutre ayant une charge uniformément répartie, il vous est encore loisible d'opter pour des charges trapézoïdales et, comme expliqué au point 2.5, de modifier les valeurs initiales et finales des charges réparties.

3.2.2. La charge ponctuelle

Pour introduire une **charge ponctuelle**, il convient de faire une distinction entre deux zones. Une **zone** est une portion de portée dans laquelle il n'y a pas de discontinuité tant en matière de charges, qu'en matière de géométrie.

Cela signifie que nous devons prévoir deux zones dans la deuxième portée: une zone à gauche de la charge ponctuelle et une zone à droite de celle-ci. Lorsque vous avez spécifié les valeurs initiales et finales de la charge répartie dans la première zone de la deuxième portée (z2.1), le programme vous demande d'indiquer la fin de cette zone. La position de la fin d'une zone équivaut à la distance de ce point par rapport à l'appui gauche de la portée à laquelle la zone en question appartient. Dans notre exemple, cette distance est donc de 2 mètres.

Si nous introduisons la valeur de la charge ponctuelle, la fenêtre "**Structure & charges**" apparaît telle que représentée à la Figure 21.

Poursuivez maintenant l'introduction des données de la poutre. L'interprétation des résultats affichés dans les différentes fenêtres est analogue à celle décrite au chapitre 2. Un bouton comprenant le signe "**>**" est affiché dans le coin inférieur droit de la fenêtre "**Croquis d'armatures**" (Figure 22). Cliquez sur ce bouton à l'aide de la souris pour afficher le croquis d'armatures de la deuxième portée. Le bouton "**>**" disparaît alors et est remplacé par le signe "**<**". Cliquez sur ce bouton si vous souhaitez réafficher la première portée. Comme expliqué précédemment au chapitre 2, les points d'origine et de fin de l'armature sont les points zéros du diagramme déplacé de moments fléchissants.

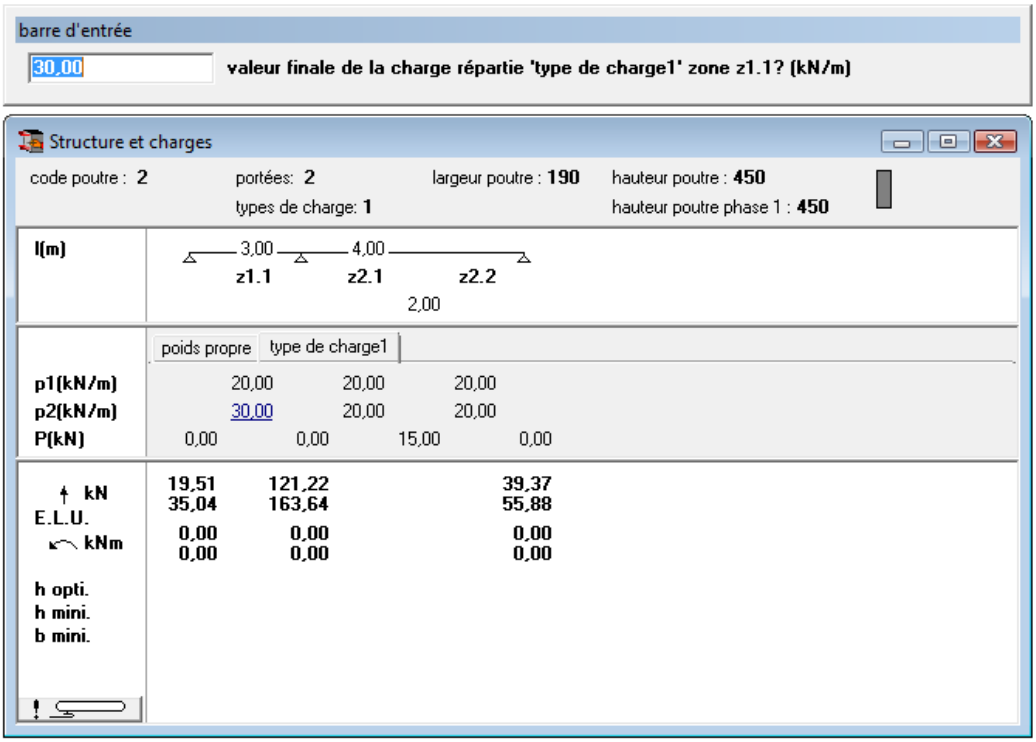


Figure 21: Structure & charges - deuxième exemple

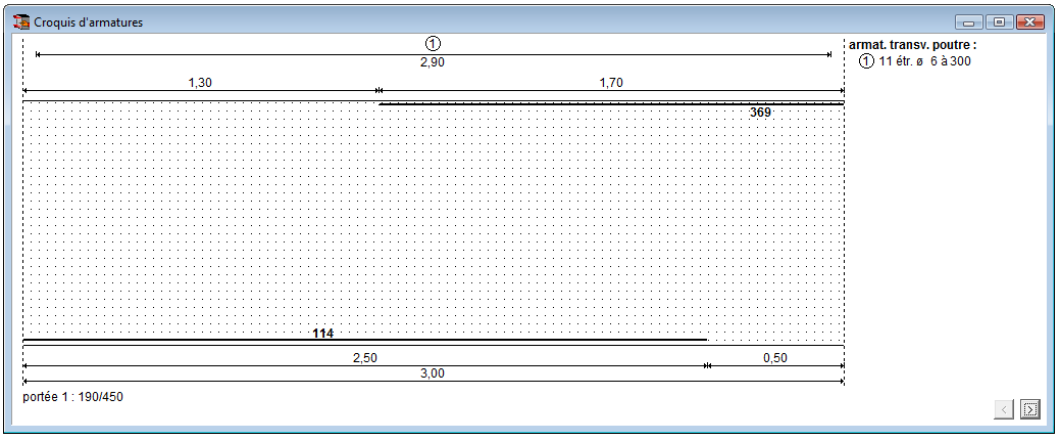


Figure 22: Croquis d'armatures - deuxième exemple

3.2.3. Modifier le nombre de zones d'une portée

3.2.3.1. Changement direct des données introduites

Si vous vous êtes trompé lors de l'introduction des données et si, par exemple, vous n'avez introduit qu'une zone dans la deuxième portée, vous savez corriger cette erreur à la fin de l'introduction. Une fois que l'introduction de la poutre est terminée, il suffit de cliquer avec la souris sur le texte "**z2.1**". Cette procédure affiche une fenêtre de dialogue à l'écran (Figure 23):

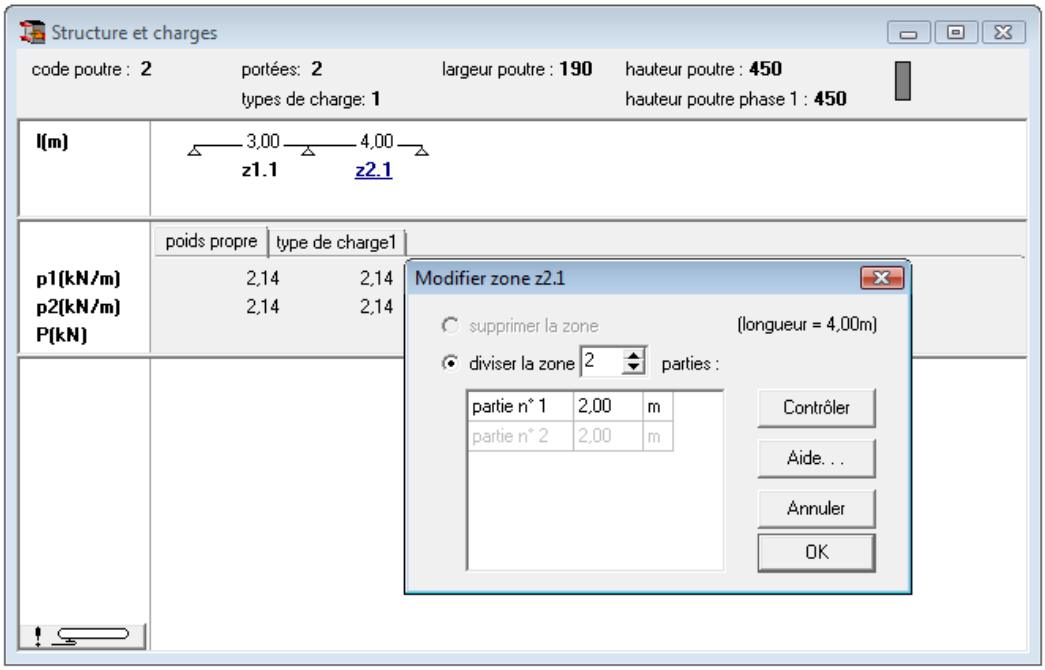


Figure 23: Ajouter des zones

Si vous indiquez de diviser la zone en deux parties, ConCrete vous propose automatiquement de diviser la zone en deux parties identiques d'une longueur de 2.00 m. Néanmoins, vous pouvez introduire une répartition irrégulière, en changeant les longueurs proposées par le logiciel.

Si la zone considérée appartient à une portée qui est déjà subdivisée en plusieurs zones, il est possible d'éliminer la zone sélectionnée (Figure 24). En éliminant la première zone, la deuxième zone va s'affecter à partir de l'extrémité gauche de la portée. En éliminant toute autre zone, la zone précédente s'allongera jusqu'à l'extrémité droite de la zone à éliminer.

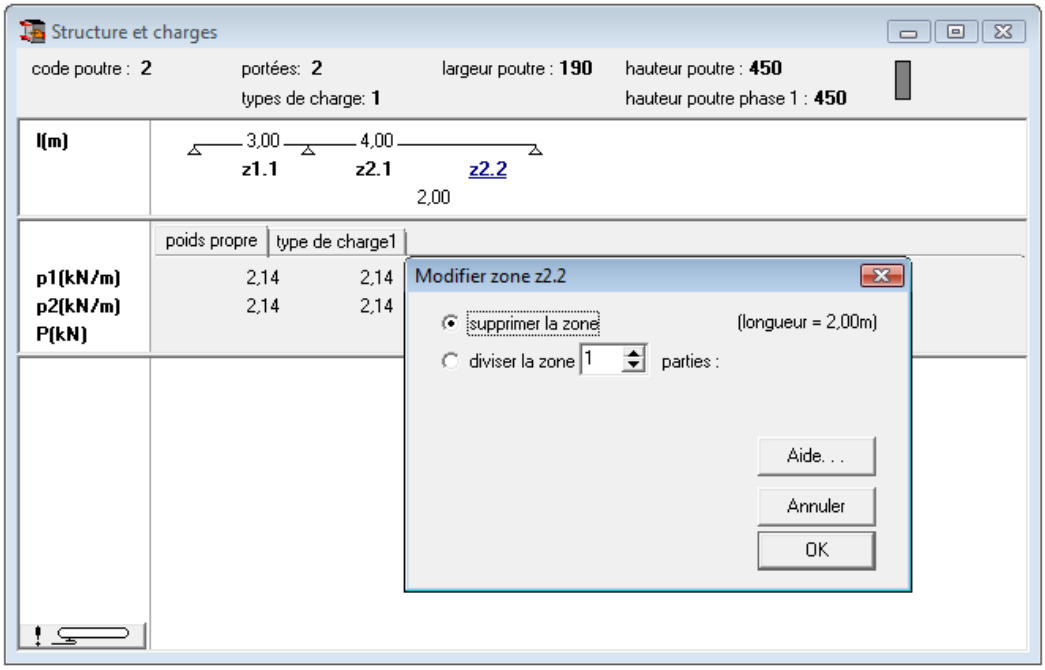


Figure 24: Supprimer des zones

3.2.3.2. Modifier à l'aide de la touche droite de la souris

Voici une deuxième méthode pour modifier les valeurs introduites:

Cliquez avec le bouton droit de la souris l'indication de la zone pour voir apparaître un menu flottant:

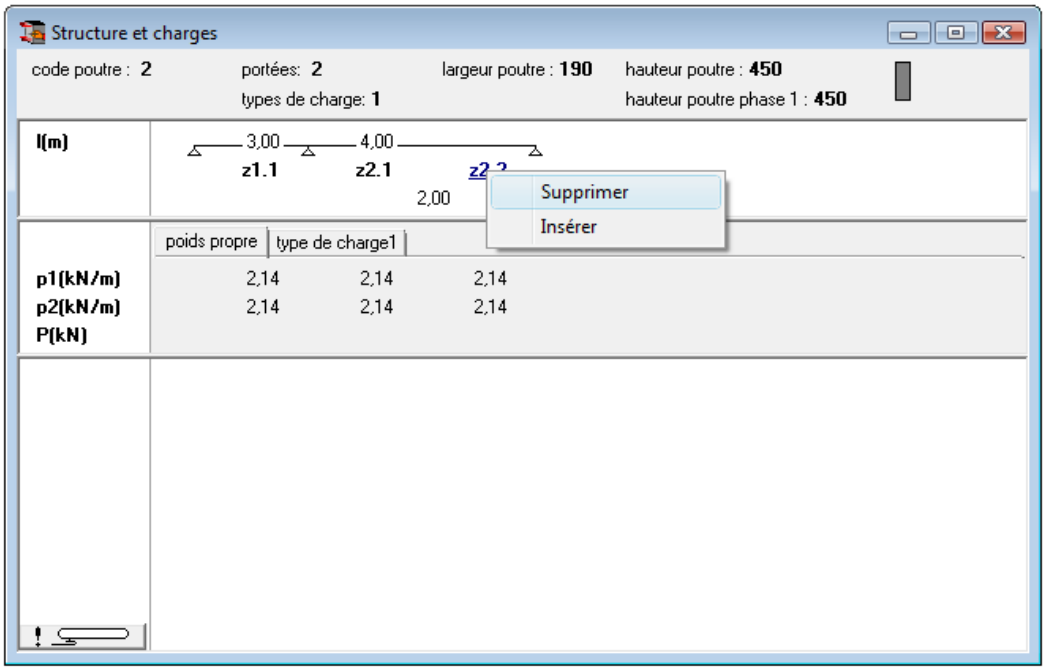


Figure 25: Popup – zone

'**Supprimer**' vous permet de supprimer cette zone, pour autant que la travée comprend plusieurs zones.

'**Insérer**' divisera la zone en deux zones nouvelles (ayant chacune une longueur égale à la moitié de la longueur de la zone initiale).

3.3. Ajout de moments

Supposez que vous souhaitiez entrer non seulement une charge ponctuelle mais également un moment d'une valeur de 10 kNm. Pour ce faire, cliquez sur le troisième icône de la deuxième palette (Figure 4) et sélectionnez l'option "**moments**" (Figure 26):

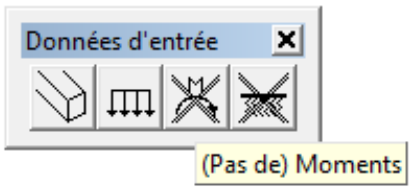


Figure 26: Palette 'Données d'entrée' - bouton moments

Dans la fenêtre "**Structure & charges**", sous la ligne des charges ponctuelles, s'est ajouté une nouvelle ligne précédée des lettres "M(kNm)" (Figure 27). Cette ligne vous permet d'entrer des moments. Sélectionnez la valeur par défaut "0.00" se trouvant en-dessous de la valeur "15.00" de la charge ponctuelle et tapez "10.00" pour la valeur du moment.

Les moments sont considérés comme positifs lorsqu'ils agissent dans le sens antitrigonométrique. Cette option peut être modifiée à tout instant selon la même procédure que celle pour les charges trapézoïdales. Si cette option avait déjà été sélectionnée au moment de l'introduction des données, le programme vous aurait demandé d'introduire les moments à cet instant là.

Notez en passant que vous pouvez également introduire des charges ponctuelles et des moments aux appuis. Les charges ponctuelles aux appuis peuvent être d'une importance capitale dans les poutres qui sont soutenues de façon élastique ou dans la prise en compte des charges du niveau supérieur. L'importance des moments aux appuis ne nécessitent aucune explication complémentaire.

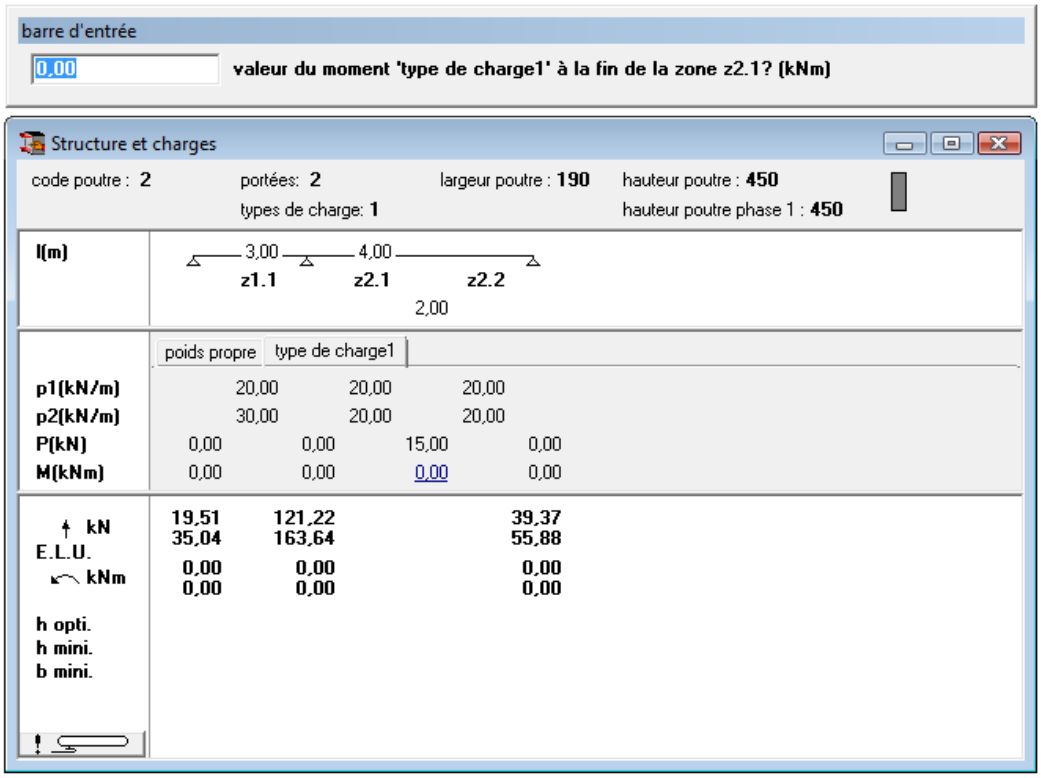


Figure 27: Structure & charges - introduire des moments

3.4. Poutre à section variable

Jusqu'à présent, nous n'avons calculé que des poutres ayant des hauteur et largeur constantes sur toute leur longueur. En pratique, il est clair que la section n'est pas toujours identique pour toutes les portées et que les sections peuvent différer dans une même portée. ConCrete vous permet de définir une autre section pour une même zone. Pour ce faire, sélectionnez l'option "**section variable**" dans le premier icône de la deuxième palette représentée à la Figure 4, Figure 28:

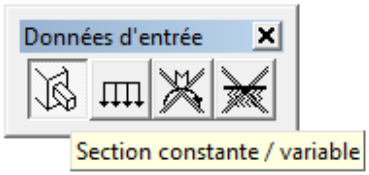


Figure 28: Palette 'Données d'entrée' – bouton section variable

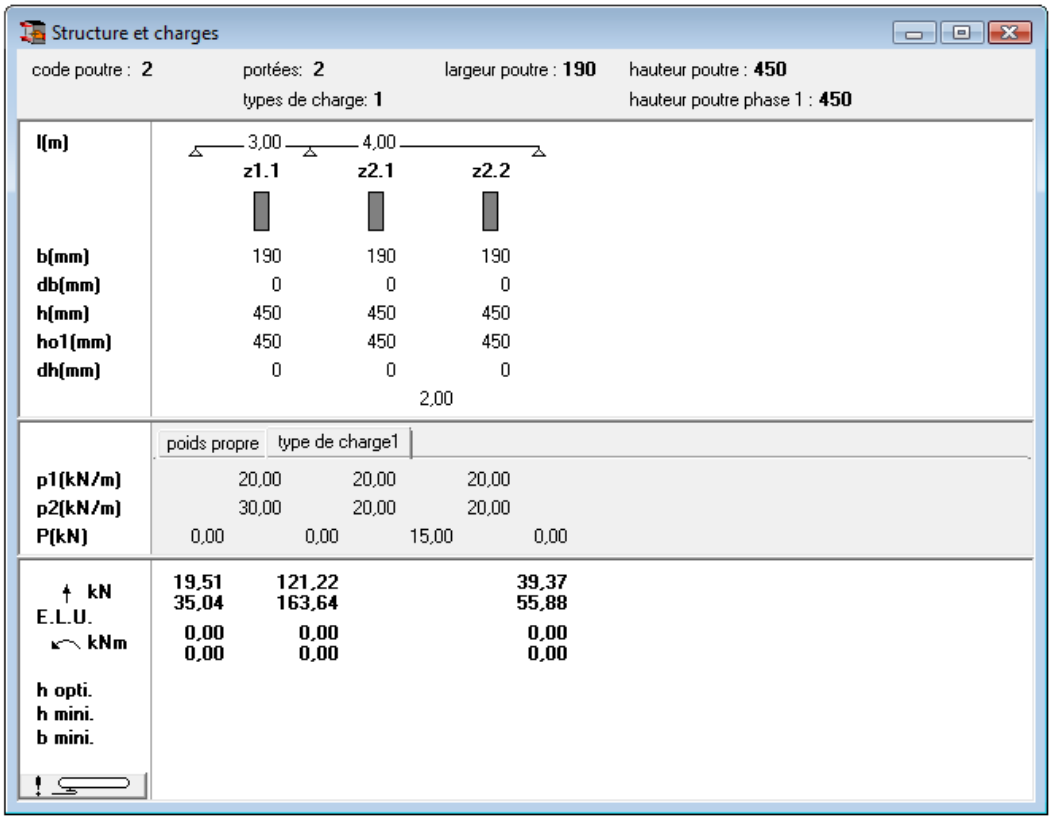


Figure 29: Structure & charges - sections variables

Dans la fenêtre "**Structure & charges**" apparaissent alors cinq lignes (Figure 29). Les légendes figurant dans la marge gauche doivent être interprétées comme suit (Figure 30):

b (mm): largeur de la zone de la poutre, en mm;

db (mm): saillie vers l'arrière de la face frontale de la zone par rapport à la face frontale de la zone précédente;

h (mm): hauteur de la zone de la poutre, en mm;

ho1 (mm): la hauteur de la poutre qui est coulée dans une première phase (p.e. l'hauteur de la partie préfabriquée, v. 7.3), par défaut égale à la hauteur ho.

dh (mm): saillie vers le bas de la face supérieure de la zone de la poutre par rapport à la face supérieure de la zone précédente.

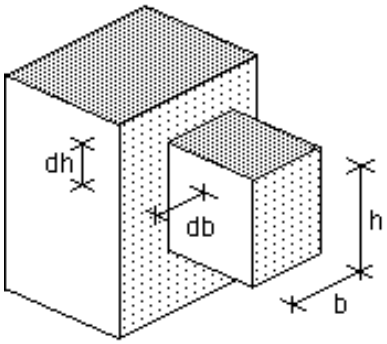


Figure 30: Croquis des dimensions de la zone

Les valeurs affichées dans la fenêtre "**Structure & charges**" pour "b (mm)", "h (mm)" et "dh (mm)" peuvent être modifiées tout comme les autres données. Par contre, la valeur de "db (mm)" ne peut être modifiée étant donné qu'elle est calculée comme étant la moitié de la différence de largeur avec la zone précédente. La raison en est qu'une saillie asymétrique dans la largeur provoque une torsion, et que ConCrete ne tient pas compte de cette torsion.

Si vous spécifiez, par exemple, 350 mm comme hauteur pour la zone z2.1 ; la fenêtre "**Structure & charges**" affiche alors automatiquement l'abréviation "VAR" à l'endroit de la hauteur générale de la poutre. Ces lettres indiquent que la poutre a une hauteur variable. Simultanément à cet affichage, la poutre est recalculée. La discontinuité en hauteur est représentée dans la fenêtre "**Croquis d'armatures**" (Figure 31). Dans la fenêtre "**Diagrammes des efforts**" nous voyons clairement l' évolution des quantités d'aciers requises (Figure 32).

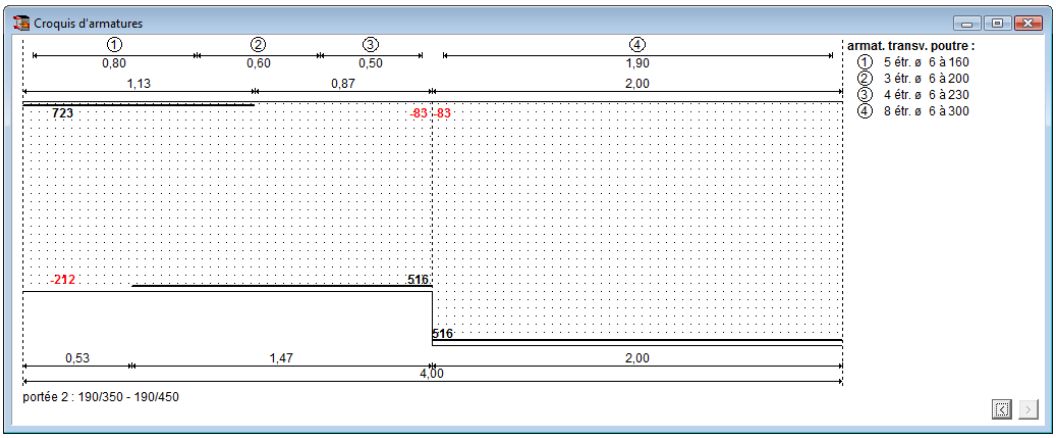


Figure 31: Croquis d'armatures - sections variables

Nous faisons les considérations suivantes:

1) Lors de la détermination des sections d'armature au droit de la discontinuité, le programme tient compte du fait que la courbe des

moments fléchissants doit être déplacée sur une distance de 0.45 fois la hauteur utile (Figure 33). Prise de façon centrale par rapport au point considéré ci-dessus, une zone ayant pour longueur 0.9 fois la hauteur utile est déterminée par le logiciel et le maximum de la courbe des moments fléchissants (non déplacée) est cherché. Ce point est équivalent à la valeur obtenue en déplaçant la courbe sur une distance de 2δ. La section d'armature résultant de ce maximum est dès lors la section d'armature demandée.

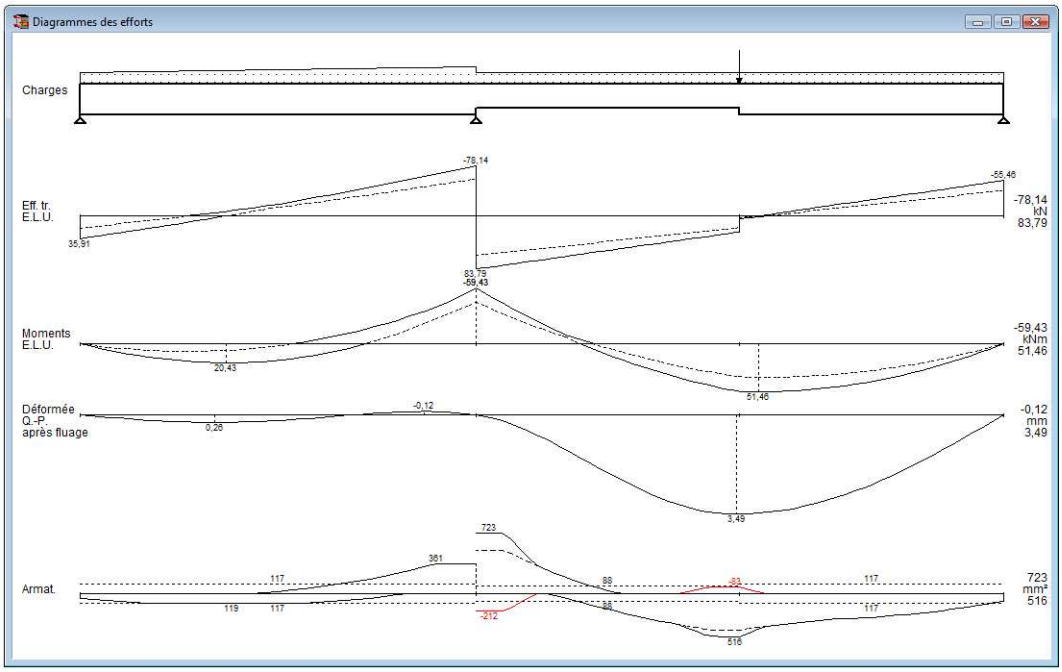


Figure 32: Diagrammes des efforts

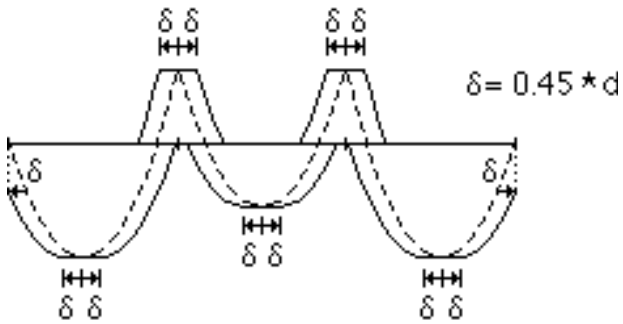


Figure 33: La courbe des moments fléchissants déplacée

2) Les sections d'armature sont déterminées en tenant compte également du fait que les barres de l'armature inférieure dans la section de poutre plus épaisse, ne deviennent efficaces qu'à une certaine distance de la discontinuité. Cette distance est obtenue en additionnant la longueur d'ancrage à la longueur de transfert nécessaire pour le transfert des efforts d'une nappe à l'autre (Figure 34). Etant donné qu'aucun diamètre de barre n'a été

spécifié dans ConCrete, le programme suppose une longueur d'ancrage constante de 60 cm. Dans la zone avec longueur égale à la longueur de transfert augmentée de 60 cm, le programme suppose pour la détermination de l'armature requise que la hauteur efficace varie de manière linéaire.

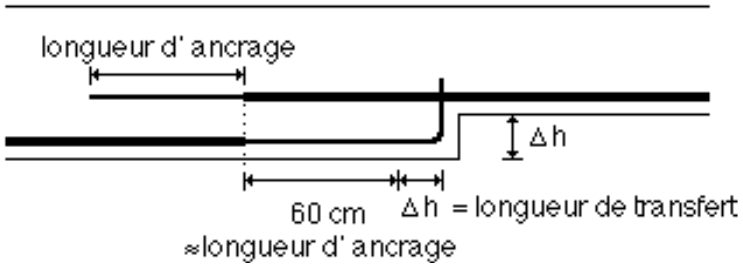


Figure 34: Les armatures - longueur de transfert et d'ancrage

L'augmentation brusque de la quantité de l'armature inférieure est due à la présence d'un moment agissant de l'extérieur de 10 kNm.

CHAPITRE 4
Paramétres de calcul

4.1. Valeurs du dossier

Jusqu'à présent, nous avons calculé des poutres en béton armé sans nous préoccuper de la qualité du béton et de la qualité des aciers utilisés pour l'armature. Cela ne signifie pas que le programme n'est pas à même de traiter ces données, mais qu'il n'est pas nécessaire de redéterminer pour chaque élément tous les paramètres de calcul. En effet, le logiciel ConCrete retient toujours les valeurs par défaut comme valeurs de base. Nous appellerons ces valeurs de base les **valeurs du dossier**. Toutefois, il est toujours possible de négliger ces valeurs et de spécifier de nouvelles valeurs du dossier. Chaque fois que vous lancez ConCrete, les paramètres de calcul sont assimilés aux valeurs du dossier.

Si nous entrons un nouvel élément, les paramètres de calcul sont identiques aux valeurs actuelles (Figure 35).

Figure 35: Les cinq boutons standards de dialogue

Les cinq boutons illustrés se trouveront toujours dans le bas des fenêtres de dialogue décrites ci-après. Pour activer les valeurs actuelles, cliquez sur le bouton "**OK**". Choisissez dans la fenêtre (Figure 36) suivante pour quels éléments les valeurs doivent être adaptées.

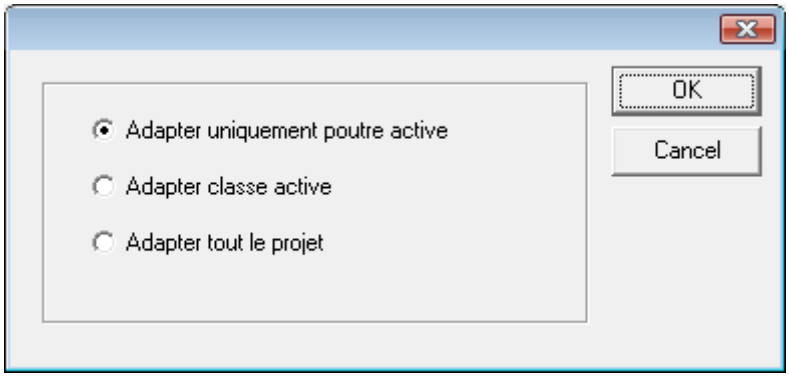


Figure 36: Adaptation des valeur actuelles

Les valeurs actuelles peuvent être installées comme des valeurs du dossier en cliquant sur le bouton "**Sauver**" ou "**S**". Si les valeurs actuelles sont différentes des valeurs du dossier, ces valeurs peuvent à nouveau être assimilées aux valeurs du dossier en cliquant sur le bouton "**Appeler**" ou "**A**". Le bouton "**Annuler**" vous permet de ne pas modifier les valeurs actuelles.

4.2. Paramétres de l'acier

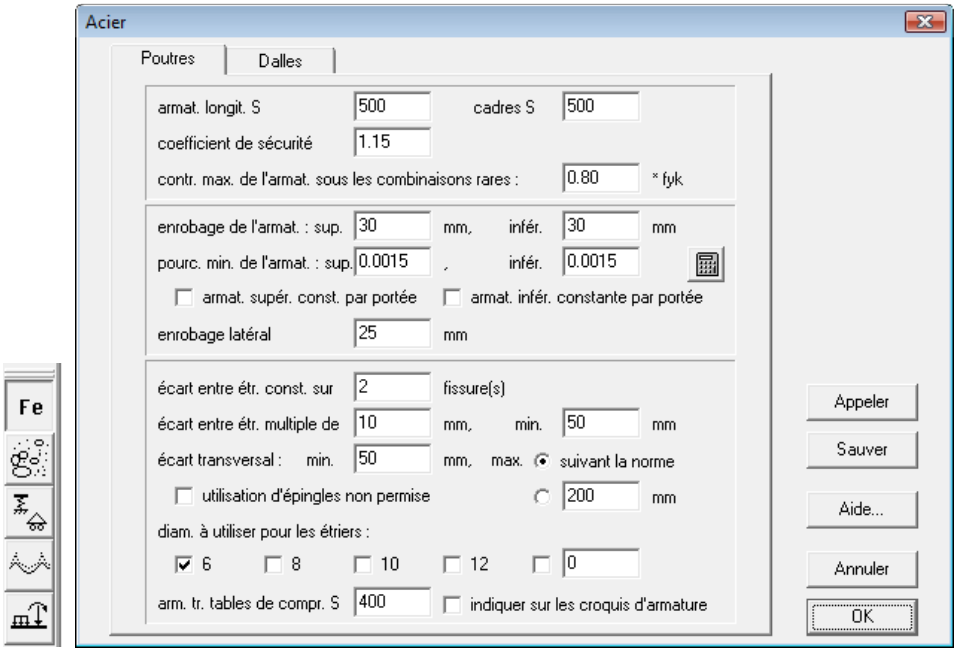


Figure 37: Paramétres des aciers

Les paramètres des aciers peuvent être consultés et modifiés en cliquant sur la première icône (Figure 37) de la première palette illustrée à la Figure 4. Cette procédure affiche une fenêtre de dialogue à l'écran. Les valeurs de la qualité d'acier sont des valeurs caractéristiques et sont exprimées en N/mm^2. Par coefficient de sécurité, on entend le coefficient qui doit être appliqué à la valeur caractéristique pour obtenir la valeur de calcul de la qualité d'acier. Cette dernière sera utilisée dans le calcul à l'état limite ultime (voir 12.2.1). Pour l'état limite de service, sous les combinaisons rares, la contrainte de traction de l'armature longitudinale doit être limitée à une fraction de la valeur caractéristique de la limite d'élasticité (80 % selon l'Eurocode). Par enrobage, on entend la distance nette entre la barre et le parement du béton, tel qu'indiquée à la Figure 38. Lors du calcul de la hauteur utile, cet enrobage et 10 mm supplémentaires, permettant de tenir compte de l'épaisseur des barres d'armature (qui, à ce stade, ne sont pas connues), sont soustraits de la hauteur réelle de la poutre.

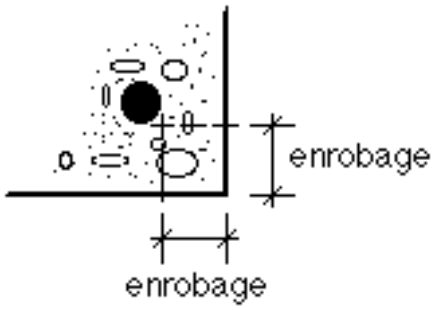


Figure 38: Croquis de l'enrobage

Le pourcentage minimal d'armature est pris en compte dans le calcul des ouvertures des fissures et de la déformée en état de fissuration et dans le calcul de la résistance au cisaillement du béton (sans aide de l'armature transversale). Les armatures inférieures et supérieures peuvent être tenues constantes sur toute la longueur des portées. En effet, les sections des armatures ont une influence favorable sur les ouvertures des fissures, sur la déformée en état de fissuration et sur la contribution du béton (sans aide de l'armature transversale) au cisaillement. Il convient d'associer le concept des "fissures" à la théorie des treillis de Mörsch. Cette dernière présente une poutre de treillis en béton armé comprenant des bielles de compression placées à 45°, des étriers verticaux et une armature longitudinale horizontale. La hauteur de la poutre est égale à 0.9 fois la hauteur utile. La raison du choix de bielles de compression obliques réside dans le fait que la fissuration provoquée par l'effort tranchant a toujours une inclinaison à 45°. De plus, la longueur horizontale d'une telle fissuration est de 0.9 fois la hauteur utile. En conservant un écart constant entre les étriers sur certaines fissures, il est donc possible d'obtenir une répartition des étriers plus pratique.

L'écartement minimal entre les étriers est réglable, aussi bien en direction longitudinale que transversale. Ceci nous permet d'influencer le calcul des étriers: des étriers moins écartés ou des étriers multiples. Toutefois, s'il ressort des calculs que l'écartement doit être inférieur à celui initialement spécifié, le programme conservera l'écartement calculé, sauf s'il est possible d'obtenir un écartement plus important par l'utilisation d'étriers de diamètre supérieur. Dans ce cas, le programme optera pour un diamètre supérieur.

En plus, il est possible d’introduire un écartement transversal maximal des étriers. En principe, cet écartement est déterminé par la norme (v. 12.2.3.2). Ainsi, l’Eurocode exige que l’écartement transversal soit inférieur à la hauteur utile. Ceci signifie que pour des poutres de section quasi quadratique, l’Eurocode exige toujours des étriers multiples, quelle

que soit la sollicitation en effort tranchant. Pour éviter ces multiples étriers, nous pouvons introduire une propre valeur pour l'écartement maximal (p.e. 200 mm). Dans les cas où un single étrier par section ne suffit pas, le logiciel va essayer de résoudre ce problème en ajoutant une épingle, de manière à obtenir une armature transversale à trois barres. Il est aussi possible de forcer le logiciel de passer tout de suite à deux étriers (= armature transversale à quatre barres) en marquant l'option "**utilisation d'épingles non permise**".

Nous pouvons indiquer les diamètres qui peuvent être utilisés pour la répartition des étriers. Outre les diamètres standards 6, 8, 10 et 12, nous pouvons introduire un diamètre arbitraire.

Pour des poutres avec des membrures (sections T, I, L et Z, v. 7.1) nous pouvons introduire la qualité d'acier des barres transversales éventuelles et indiquer si nous voudrons voir affichées ces armatures dans la fenêtre "**Croquis d'armatures**". Les barres transversales éventuelles doivent prévenir d'un déchirement entre les membrures et l'âme de la poutre.

4.3. Paramètres du béton

Cliquez sur le deuxième icône de la première palette illustrée à la Figure 3 pour spécifier les paramètres du béton (Figure 39).

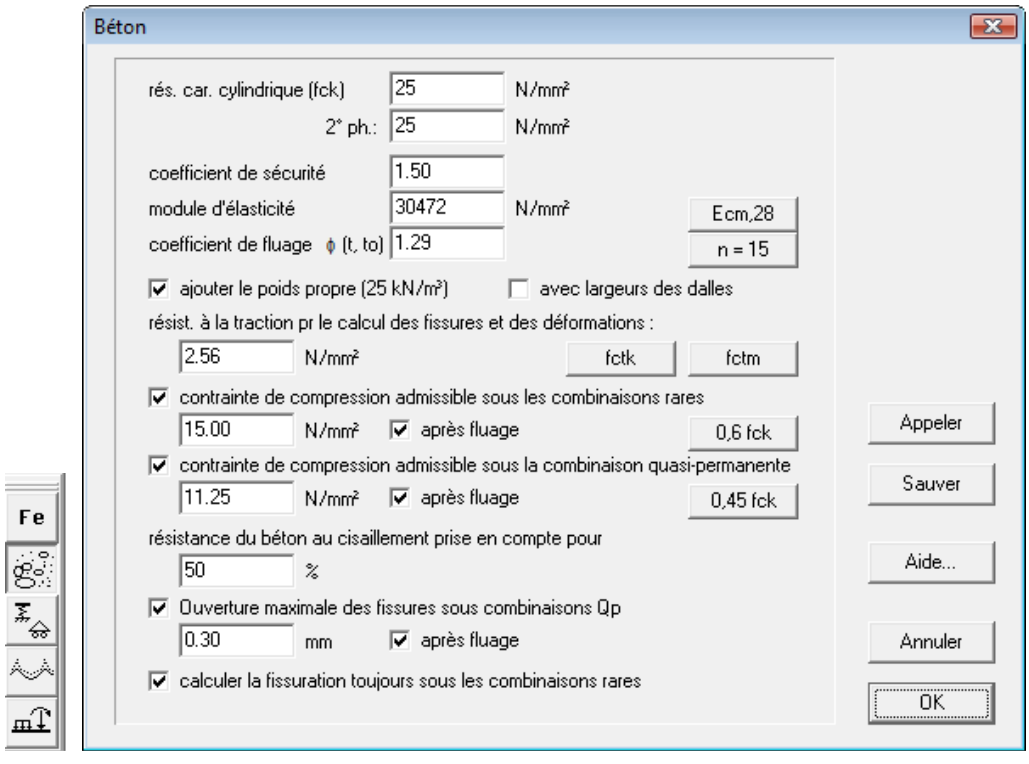


Figure 39: Paramétres du béton

La résistance caractéristique en compression f_{ck} est la valeur de la force au-delà de laquelle se trouvent 95% de toutes les mesures de force collectées sur des éprouvettes de béton. Cette résistance en compression est déterminée à l'âge de 28 jours, sur des cylindres de 150 mm de diamètre et de 300 mm de hauteur, plongés dans une eau de 20 ± 2℃. Tout comme pour l'acier, le coefficient de s écurité est le coefficient qu'il convient d'appliquer à la valeur caractéristique pour obtenir la valeur de calcul de la qualité du béton. Cette dernière sera utilisée dans les calculs à l'état limite ultime. Le module d'élasticité peut être spécifié manuellement ou être calculé en fonction de la qualité du béton, à l'aide du bouton "$\boldsymbol{E_{cm,28}}$". Dans ce dernier cas, la valeur du module d'élasticité est calculée à l'aide de la formule suivante ($E_{cm,28}$ = module d'élasticité à l'âge de 28 jours):

- Eurocode 2 en NBN B15-002:
$$E_{cm,28} = 9500 \cdot (f_{ck} + 8)^{1/3}$$
- B.A.E.L. 91:
$$E_{cm,28} = 11000 \cdot f_{ck}^{1/3}$$

Pour tenir compte de l'effet du fluage pour le calcul de la déformée et pour la limitation des contraintes du béton et des ouvertures des fissures, nous pouvons introduire un coefficient de fluage $\phi(t, t_0)$. D'après le NBN B15-002, les contraintes doivent être limitées pour un rapport des modules d'élasticité de l'acier et du béton égale à 15: $n = \frac{E_S}{E_c} = 15$. La valeur du coefficient du fluage $\phi(t, t_0)$ qui correspond à ce rapport peut être calculée en cliquant sur le bouton "**n = 15**". Cette valeur n'est pas la valeur finale du fluage, de manière que, si nous calculons la déformée après fluage avec ce coefficient, nous sous-estimons la déformée finale. Néanmoins, il faut dire que, si on calcule la déformée en tenant compte de la fissuration et du fluage avec toutes les valeurs proposées par la norme, la déformée ainsi calculée sur-estime le résultat expérimental...

Il nous est loisible de choisir si nous souhaitons ajouter le poids propre de la poutre, avec ou sans les membrures des sections en T, dans le calcul. ConCrete suppose un poids spécifique du béton de 25 kN/m³. Comme nous verrons par la suite, ConCrete exécute le calcul des déformations en tenant compte des fissures et des moments d'inertie variables qui en résultent. Dans ce calcul la valeur de la résistance en traction du béton joue un rôle important. Nous avons la possibilité d'introduire une valeur quelconque ou de faire calculer la valeur moyenne (f_{ctm}) ou caractéristique ($f_{ctk} = f_{ctk0.05}$) par le programme en

fonction de la résistance caractéristique cylindrique en compression. Ces deux valeurs sont calculées à l'aide des formules suivantes:

- Eurocode 2 en NBN B15-002:

$$f_{ctm} = 0.30 \cdot f_{ck}^{2/3}$$
$$f_{ctk0.05} = 0.7 \cdot f_{ctm}$$

- B.A.E.L. 91:

$$f_{ctm} = \frac{f_{ctk0.05}}{0.7}$$
$$f_{ctk0.05} = 0.6 + 0.06 \cdot f_{ck}$$

D'après des expérimentations au Laboratoire Magnel de l'Université de Gand, la valeur moyenne et la valeur caractéristique donnent une déformée calculée qui surestime la valeur expérimentale. Dans ce même travail, on dit que la valeur de 3.56 N/mm^2, proposée par la Norme Américaine, correspond mieux aux expériences. A notre avis, il est raisonnable de calculer, sans trop de risques, la déformée fissurée avec le rapport n = 15 et la valeur moyenne de la résistance à la traction f_{ctm} = 2.56 N/mm^2 (pour f_{ck} = 25 N/mm^2).

Enfin, nous pouvons imposer une limite aux contraintes de compression du béton pour l'état limite de service sous les combinaisons rares et sous la combinaison quasi-permanente. D'après l'Eurocode 2, cette limite sous les combinaisons rares est seulement nécessaire pour des éléments de la classe de climat 3 ou 4 (constructions à la mer, sous l'eau, exposés au milieu agressif, …) et dans ce cas la limite vaut 0. f_{ck}. Par le bouton à droite "**0.6f_{ck}**" nous pouvons limiter la contrainte admissible à 60% de la valeur caractéristique de la résistance en compression. La Norme Belge NBN B15-002 est plus exigeante: il faut limiter la contrainte pour toutes les classes de climat à 0.5 f_{ck}. Si nous avons choisi de faire le calcul selon le NBN B15-002, le bouton "**0.6f_{ck}**" est remplacé par "**0.5f_{ck}**". Sauf si la totalité des charges s'appliquent juste après le coulage du béton, la limite peut être appliquée après fluage (cfr. explication plus haut pour n = 15). Pour des constructions où le fluage joue un rôle important, la limité de 45% sous la combinaison quasi-permanente est recommandée, sinon, la méthode qui règle le fluage par un coefficient, sous-estime l'effet du fluage. Si la contrainte maximale admissible est dépassée, le logiciel augmente l'armature de traction et ajoute de l'armature de compression.

Pour la norme B.A.E.L. 91, on peut considérer que la fissuration est non préjudiciable, préjudiciable ou très préjudiciable.

Si, pour n'importe quelle raison, on ne veut (ou peut) pas tenir compte complètement ou partiellement de la contribution du béton au cisaillement (sans l'aide d'une armature transversale), il est possible d'introduire le pourcentage de cette contribution qu'on veut envisager.

4.4. Paramètres d'appuis

A l'aide de la troisième icône de la première palette illustrée à la Figure 3 spécifiez les paramètres d'appuis (Figure 40).

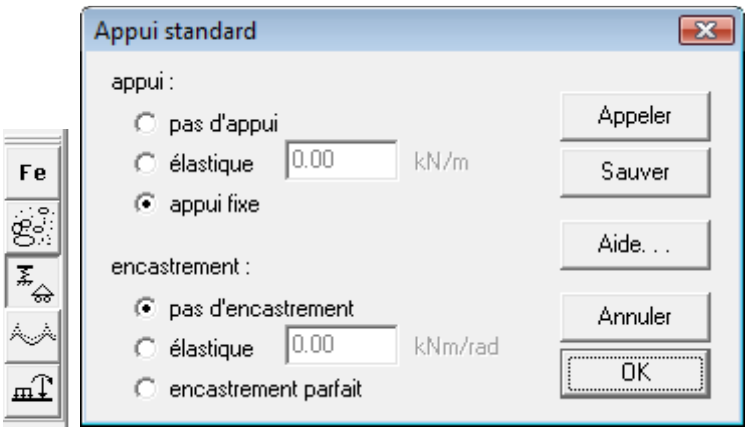


Figure 40: Appui standard

Les modifications que vous introduirez dans cette fenêtre ont trait à l'ensemble des appuis. Cependant, si vous ne souhaitez modifier qu'un seul appui, cliquez pour ce faire sur l'appui dans la fenêtre "**Structure & charges**". La fenêtre de dialogue qui s'affiche alors à l'écran est identique à celle décrite ci-avant (Figure 41) mais les paramètres introduits n'affecteront que l'appui sélectionné:

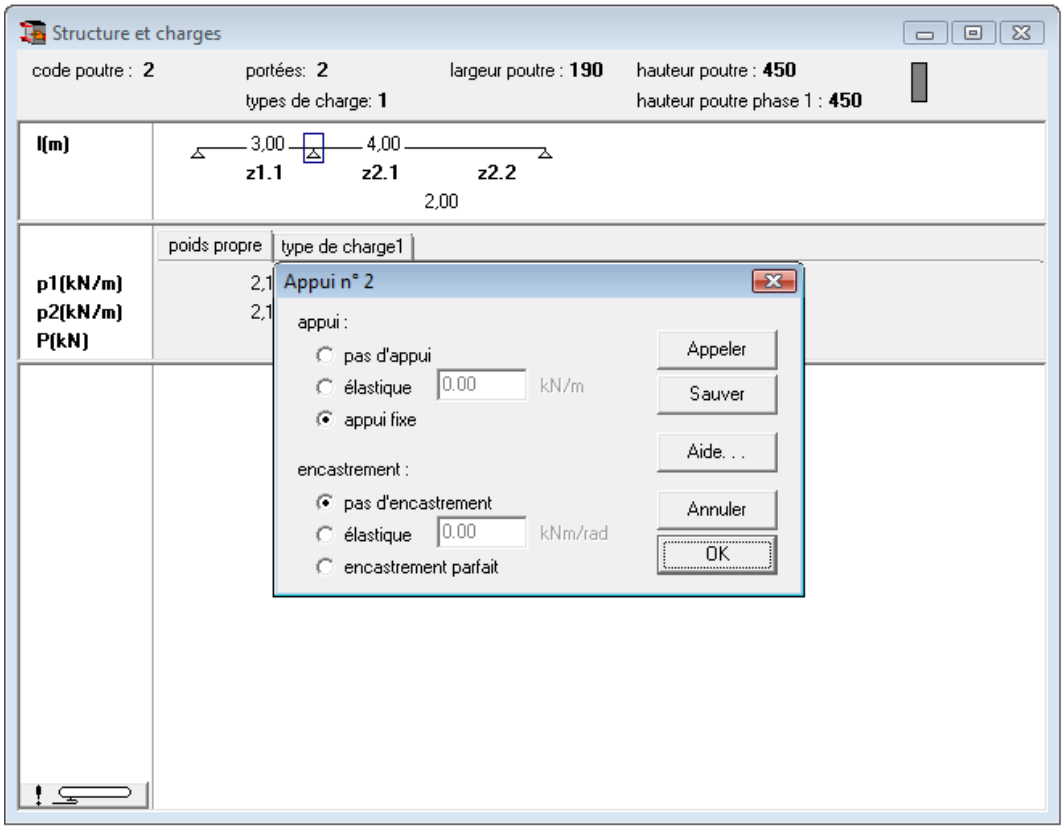


Figure 41: Modifier les appuis

En enlevant un appui d'extrémité, on peut transformer une portée biappuyée en porte-à-faux. Outre les **porte-à-faux** et les **appuis fixes**, vous pouvez également introduire des **appuis élastiques**, des **encastrements élastiques** ou des **encastrements parfaits**.

Il existe cependant une deuxième possibilité vous permettant d'entrer un porte-à-faux, à savoir: en entrant une valeur négative pour la longueur de portée d'un appui d'extrémité. ConCrete interprète alors automatiquement la longueur de portée négative comme étant un porte-à-faux ayant pour longueur la valeur absolue de la longueur introduite.

4.5. Paramètres de la réduction des moments

Si vous souhaitez visualiser ou modifier les options du calcul de la **réduction des moments**, sélectionnez la quatrième icône de la première palette illustrée à la Figure 3. Tout comme pour les paramètres géométriques des appuis, ces options sont applicables à tous les appuis (éventuellement à tous les appuis intermédiaires uniquement).

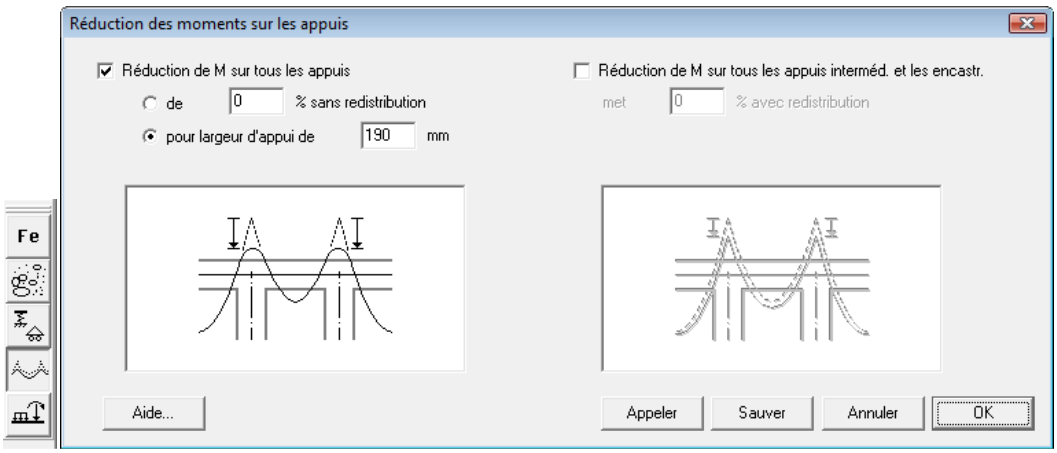


Figure 42: Réduction des appuis

La première option affichée dans la fenêtre de dialogue (Figure 42) ne provoque aucune transformation des diagrammes des efforts mais uniquement une réduction de l'armature. La raison en est que dans le cas d'appuis plus larges, le sommet de la courbe des moments peut être tronquée lors de la détermination de l'armature à l'appui (Figure 43).

ConCrete vous permet de réduire le moment par introduire ou:

- un pourcentage.
- la largeur de l'appui.
  La réduction du moment ΔM est calculée par:

$$\Delta M = \frac{F_{sup} \cdot b_{sup}}{8}$$

  Avec F_{sup} la réaction verticale dans l'appui, et b_{sup} la largeur de l'appui.

Par contre, la deuxième option modifie effectivement les diagrammes des efforts en réduisant les moments sur les appuis intermédiaires d'un pourcentage variable, et en augmentant les moments dans les portées afin que les moments fléchissants constituent, d'un point de vue statique, la solution correcte à la charge introduite (Figure 44). Ceci implique également une modification des courbes des efforts tranchants.

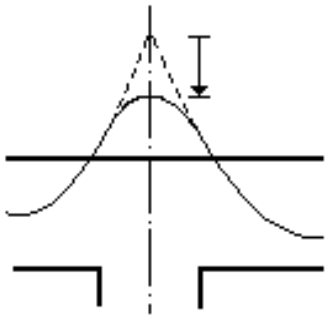


Figure 43:
Réduction des moments sans redistribution

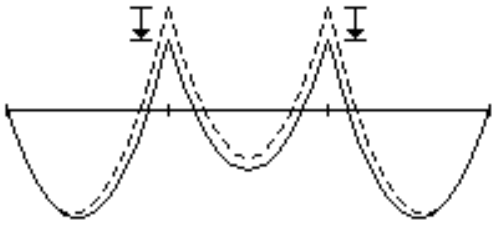


Figure 44:
Réduction des moments avec redistribution

Si vous souhaitez appliquer une réduction des moments sur un seul appui, maintenez *la touche Contrôle* (version Windows) ou *la touche ð* (version Macintosh) enfoncée et cliquez sur l'esquisse de l'appui considéré dans la fenêtre "**Structure & charges**".

La fenêtre de dialogue qui s'affiche est identique à celle de la Figure 42 mais les paramètres introduits ont uniquement trait à l'appui sélectionné (Figure 45). La deuxième option n'est pas applicable aux appuis d'extrémité qui ne sont pas encastrés; les efforts interne y sont en effet uniquement déterminés par l'équilibre statique. Toute modification des diagrammes des efforts est inadmissible à ces endroits. Des encastrements procentuels (p.e. encastrement de 80%) peuvent être introduits en indiquant un encastrement parfait et en appliquant ensuite une réduction des moments avec redistribution (p.e. 20% pour un encastrement à 80%).

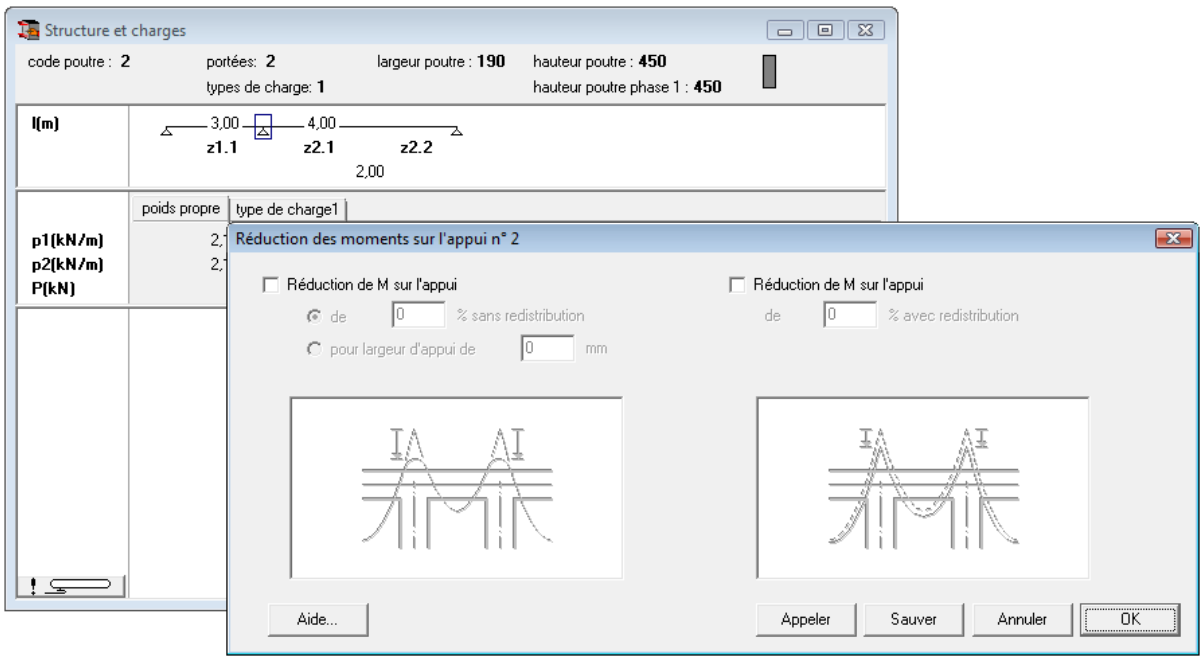
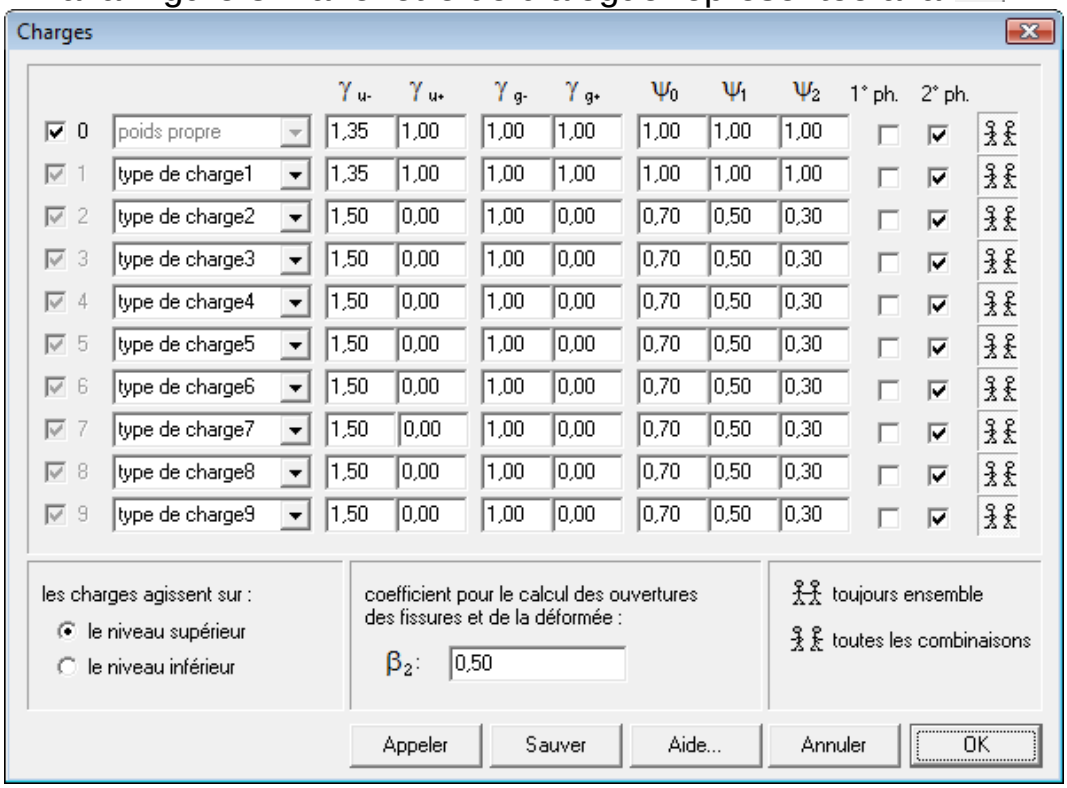


Figure 45: Réduction des moments sur l'appui

4.6. Paramètres des charges

Le programme ConCrete vous permet d'indiquer, outre le poids propre, neuf types de charge. Chaque type de charge possède ses propres **coefficients de charge** et peut être associé à un **coefficient de combinaison** bien déterminé. Pour introduire ces coefficients, cliquez à l'aide de la souris sur la cinquième icône de la première palette illustrée

à la Figure 3. La fenêtre de dialogue représentée à la


Charges
γ u- γ u+ γ g- γ g+ Ψ0 Ψ1 Ψ2 1° ph. 2° ph.
0 poids propre 1,35 1,00 1,00 1,00 1,00 1,00 1,00
1 type de charge1 1,35 1,00 1,00 1,00 1,00 1,00 1,00
2 type de charge2 1,50 0,00 1,00 0,00 0,70 0,50 0,30
3 type de charge3 1,50 0,00 1,00 0,00 0,70 0,50 0,30
4 type de charge4 1,50 0,00 1,00 0,00 0,70 0,50 0,30
5 type de charge5 1,50 0,00 1,00 0,00 0,70 0,50 0,30
6 type de charge6 1,50 0,00 1,00 0,00 0,70 0,50 0,30
7 type de charge7 1,50 0,00 1,00 0,00 0,70 0,50 0,30
8 type de charge8 1,50 0,00 1,00 0,00 0,70 0,50 0,30
9 type de charge9 1,50 0,00 1,00 0,00 0,70 0,50 0,30
les charges agissent sur :
le niveau supérieur
le niveau inférieur
coefficient pour le calcul des ouvertures des fissures et de la déformée :
β2: 0,50
toujours ensemble
toutes les combinaisons
Appeler
Sauver
Aide...
Annuler
OK

s'affiche à l'écran.

Cette fenêtre de dialogue vous permet de spécifier si les charges agissent sur le niveau supérieur ou inférieur, ce qui peut s'avérer capital lors de la détermination de l'armature transversale (cfr. théorie des treillis de Mörsch). Le coefficient β_2 pour le calcul des ouvertures des fissures (v. 12.2.2.4) et de la déformée (v. 12.2.2.3) est normalement égale à 0.50 pour des charges de longue durée et/ou répétitives et à 1.00 pour des charges uniques et momentanées.

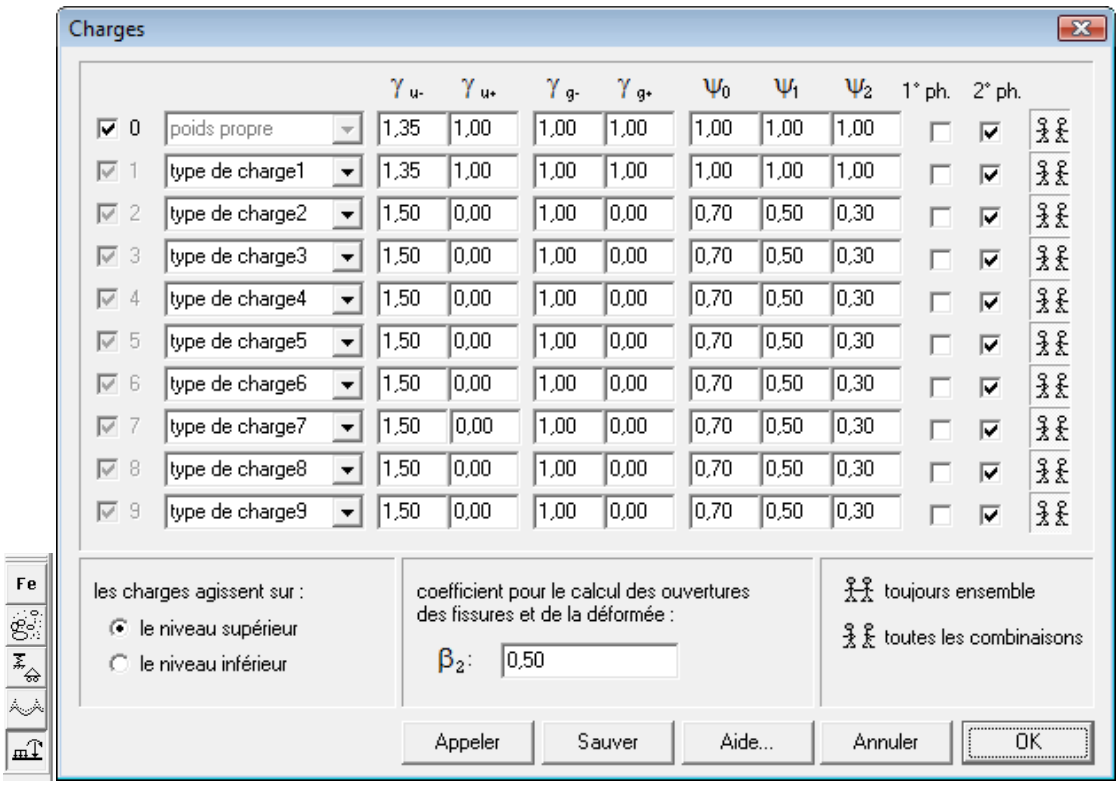

Charges
γ u- γ u+ γ g- γ g+ Ψ0 Ψ1 Ψ2 1° ph. 2° ph.
0 poids propre 1,35 1,00 1,00 1,00 1,00 1,00 1,00
1 type de charge1 1,35 1,00 1,00 1,00 1,00 1,00 1,00
2 type de charge2 1,50 0,00 1,00 0,00 0,70 0,50 0,30
3 type de charge3 1,50 0,00 1,00 0,00 0,70 0,50 0,30
4 type de charge4 1,50 0,00 1,00 0,00 0,70 0,50 0,30
5 type de charge5 1,50 0,00 1,00 0,00 0,70 0,50 0,30
6 type de charge6 1,50 0,00 1,00 0,00 0,70 0,50 0,30
7 type de charge7 1,50 0,00 1,00 0,00 0,70 0,50 0,30
8 type de charge8 1,50 0,00 1,00 0,00 0,70 0,50 0,30
9 type de charge9 1,50 0,00 1,00 0,00 0,70 0,50 0,30
Fe
les charges agissent sur :
le niveau supérieur
le niveau inférieur
coefficient pour le calcul des ouvertures des fissures et de la déformée :
β2 : 0,50
toujours ensemble
toutes les combinaisons
Appeler
Sauver
Aide...
Annuler
OK

Figure 46: Paramètres des charges

Il convient de distinguer six coefficients par type de charge:

γ_{u-} le coefficient de charge qu'il convient d'appliquer lors de la détermination des moments fléchissants et des efforts tranchants dans l'état limite ultime dans le cas où la charge exerce un effet défavorable sur le diagramme des efforts considéré;

γ_{u+} fonction identique à γ_{u-}, si ce n'est que ce coefficient est applicable dans le cas d'un effet favorable;

γ_{g-} le coefficient de charge qu'il convient d'appliquer lors de la détermination des angles de rotation et des flèches pour l'état limite de service dans le cas où la charge exerce un effet défavorable sur le diagramme des efforts considéré;

γ_{g+} fonction identique à γ_{g-}, si ce n'est que ce coefficient est applicable dans le cas d'un effet favorable;

Ψ_0 le coefficient de combinaison appliqué au présent type de charge lors de la détermination des efforts dans l'état limite ultime (combinaison fondamentale) et sous les combinaisons rares dans l'état limite de service, sous condition qu'un autre type de charge est le plus défavorable;

Ψ_1 le coefficient de combinaison appliqué au présent type de charge lors de la détermination des efforts sous la combinaison accidentelle dans l'état limite ultime et sous la

combinaison fréquente dans l'état limite de service, sous condition que ce type de charge est le plus défavorable;

Ψ_2 le coefficient de combinaison appliqué au présent type de charge lors de la détermination des efforts sous la combinaison quasi-permanente dans l'état limite de service. Sous la combinaison accidentelle dans l'état limite ultime et sous la combinaison fréquente dans l'état limite de service, ce coefficient est appliqué sous condition qu'un autre type de charge est le plus défavorable

La charge sur un porte-à-faux a, par exemple, une influence favorable sur les moments de la travée adjacente. Pour le calcul de ces moments, le programme appliquera donc le coefficient γ_{u+} sur cette charge et, pour le moment dans le porte-à-faux, le coefficient γ_{u-}. Lors de la détermination du coefficient favorable ou défavorable pour le calcul du moment à un point donné, le programme suppose que la charge considérée sur une travée est présente avec un coefficient soit favorable, soit défavorable. Une charge répartie sur plusieurs travées peut donc être présente dans une travée avec un coefficient favorable et dans une autre avec un coefficient défavorable, lors de la détermination du moment en un point fixé arbitrairement x_1. Pour un autre point, x_2 , ces coefficients peuvent être tout autre. Le programme ConCrete recherche le coefficient qui doit être appliqué à chaque cas de figure. Il est clair que les remarques relatives aux moments fléchissants sont également d'application pour les autres diagrammes.

Pour la détermination de la combinaison fondamentale dans l'état limite ultime (E.L.U) et des combinaisons rares (C.R.) dans l'état limite de service, la charge variable (surcharge) la plus défavorable est appliquée avec un facteur = 1, toutes les autres surcharges d'un facteur Ψ_0. Comme c'est le cas pour les coefficients des charges, le logiciel même recherche la surcharge la plus défavorable. Pour la combinaison quasi-permanente, toutes les surcharges sont appliquées avec leur coefficient de combinaison Ψ_2. Les charges permanentes sont toujours appliquées sans coefficient de combinaison (c.-à-d. coefficient de combinaison = 1).

Notez que nous n'avons fait aucune distinction entre les **charges permanentes** et les **charges variables** lors de la détermination des types de charge. Nous avons donc un coefficient de charge favorable et un autre défavorable tant pour les charges permanentes que pour les charges variables. Dans le cas de charges variables, nous considérerons la valeur "0" pour le coefficient de charge favorable; pour les charges permanentes nous considérerons toujours une valeur voisine de "1", "0.9" par exemple. Pour des charges permanentes, les trois coefficients de combinaison doivent être égales à "1".

La distinction entre les charges permanentes et variables est donc uniquement établie par les autres valeurs des coefficients de charge et de combinaison.

Pour chaque type de charge, nous pouvons indiquer dans quelle(s) phase(s) ce type est présent. La **première phase** est calculée de maniére *isostatique* (portée par portée) avec une section éventuellement réduite (hauteur ho1 au lieu de ho). L'armature nécessaire à l'état limite ultime est calculée. Puis, la poutre est calculée dans la **deuxième phase**. Dans cette phase, la poutre est calculée de manière *hyperstatique*, comme elle était introduite, avec la section totale (hauteur ho). De nouveau, l'armature nécessaire pour l'état limite ultime est calculée. Enfin, le résultat finale pour l'état limite ultime est le maximum des résultats des deux phases. A partir de l'armature résultante, les contraintes du béton et de l'acier sont calculées dans l'état limite de service dans la première phase (donc isostatique et avec hauteur réduite). Ensuite, le logiciel détermine l'augmentation des contraintes dans la deuxième phase. Si les contraintes sont trop grandes, les quantités d'armature seront augmentées.

Avec l'option "**toujours ensemble**" on force le logiciel à traiter les charges du type considéré comme un ensemble. Par défaut, ConCrete chargera automatiquement certaines portées avec un coefficient favorable γ_+ et d'autres portées avec un coefficient défavorable γ_-, afin d'obtenir la situation la plus défavorable. Par contre, la nature des charges peut rendre la distinction entre des portées chargées favorablement et défavorablement impossible. Pensons-nous à une piscine qui peut être remplie de l'eau ou pas. Supposons que cette piscine est supportée par une poutre à trois portées. L'eau doit être introduite comme une charge variable avec coefficients de charges $\gamma_{u-} = 1.50$ et $\gamma_{u+} = 0.00$. Normalement, le logiciel va calculer aussi la situation où la première et la troisième portée sont chargées et la deuxième pas. Dans la pratique cette situation ne peut pas se présenter: ou il y a de l'eau dans la piscine et donc toutes les trois portées sont chargées, ou la piscine est vide et donc toutes les trois portées sont déchargées. En indiquant que les charges d'un type de charges doivent être toujours présentes ou absentes ensemble, nous pouvons forcer le logiciel à ne calculer que ces deux dernières situations (toutes les portées chargées et toutes les portées déchargées).

CHAPITRE 5 Plusieurs types de charge

5.1. Introduction

Les poutres que nous avons introduites jusqu'à présent étaient, il est vrai, soumises à diverses charges mais toutes appartenaient à un même type de charge. Or, en pratique, il est fréquent que nous ayons affaire à diverses types de charges, tels que des charges permanentes, des charges utiles, des charges de Neige et de Vent, etc. D'autres coefficients de charge et de combinaison doivent être par conséquent appliqués en fonction du type de charge. Nous avons vu précédemment (point 4.6) comment déterminer ces coefficients. Ce qu'il nous reste à savoir, c'est comment indiquer au programme l'appartenance d'une charge à un type de charge particulier.

5.2. Poutre à deux types de charge

Nous souhaitons calculer une poutre ayant deux travées et deux types de charge: une charge permanente $p = 20\ kN/m$ et une charge variable de $q = 10kN/m$:

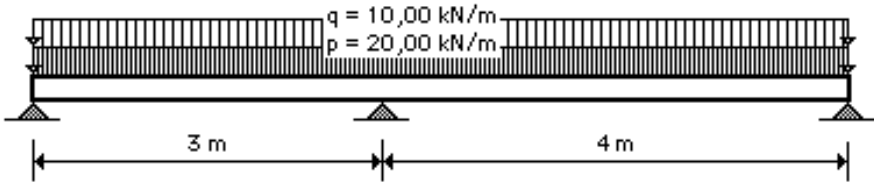


Figure 47: Croquis des charges

La largeur de la poutre est fixée à 190 mm et la hauteur à 500 mm. Nous remettons les options d'introduction de la deuxième palette représentée à la Figure 4 dans leur état initial: section constante, charges uniformément réparties et pas de moments.

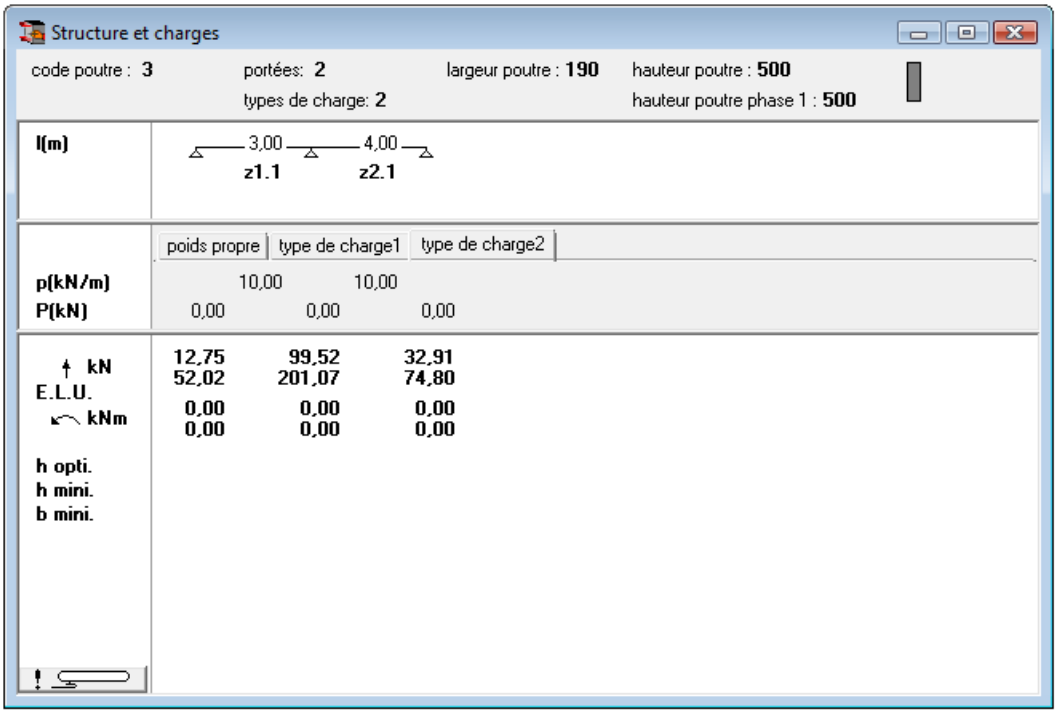


Figure 48: Structure & charges - troisième type de charge

Lors de l'introduction des données, vous devez indiquer que vous entrerez deux types de charge. Le reste de la procédure est identique à celle décrite précédemment. Lorsque vous avez entré la valeur de la première charge répartie dans la dernière zone de la dernière travée, le programme vous demandera automatiquement la valeur de la deuxième charge répartie dans la première zone de la première travée (Figure 48).

Entre temps, le rectangle, affichant les charges, qui figure dans la fenêtre "**Structure & charges**" est prêt à recevoir le deuxième type de charge: le compteur indique "2". Ce nombre signifie que les valeurs que nous voyons dans le rectangle en question, sont celles du deuxième type de charge. La flèche auparavant affichée en gris au-dessus du chiffre "2" est maintenant devenue blanche à bord noir. Cliquez sur cette flèche à l'aide de la souris pour retourner au type de charge précédent. La flèche figurant sous le chiffre "2" vous permet d'afficher l'éventuel type de charge suivant, dans le rectangle.

Une fois que vous avez introduit toutes les données, ConCrete exécute les calculs comme nous l'avons vu au point 4.6. Vous aurez comme résultat les **diagrammes enveloppes** pour les moments fléchissants et les efforts tranchants (Figure 49). Nous attirons votre attention sur le fait que le chevauchement des armatures inférieures et supérieures (Figure 50) NE signifie NULLEMENT qu'il n'est plus nécessaire de spécifier la longueur d'ancrage lors de la détermination de la longueur des barres

d'acier longitudinales. Cette procédure est désormais automatique dans le programme ConCrete Plus.

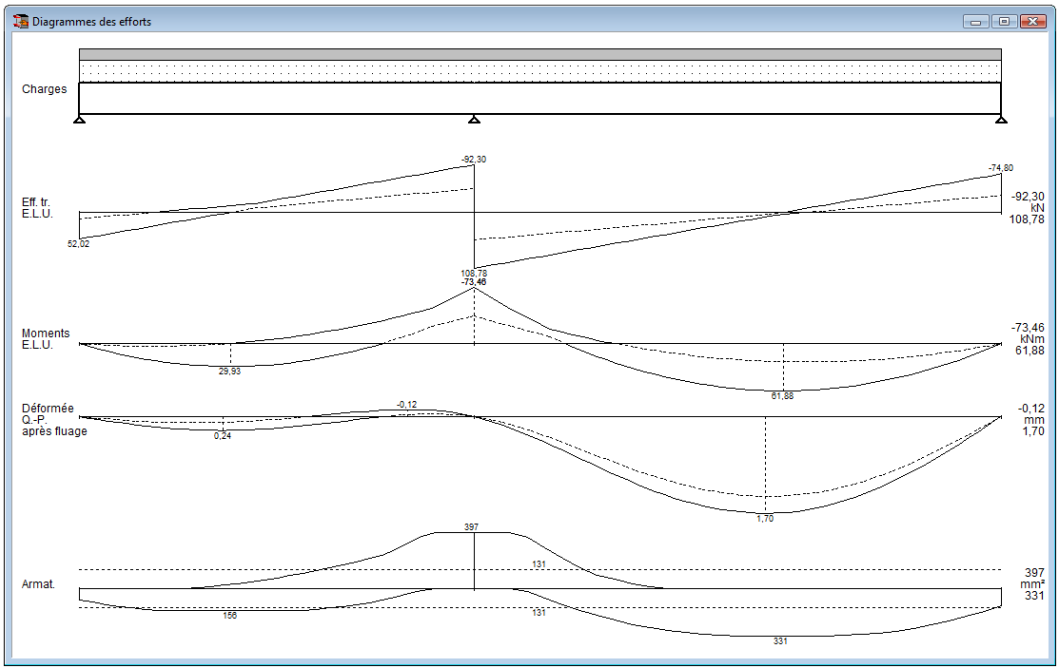


Figure 49: Diagrammes des efforts - troisième exemple

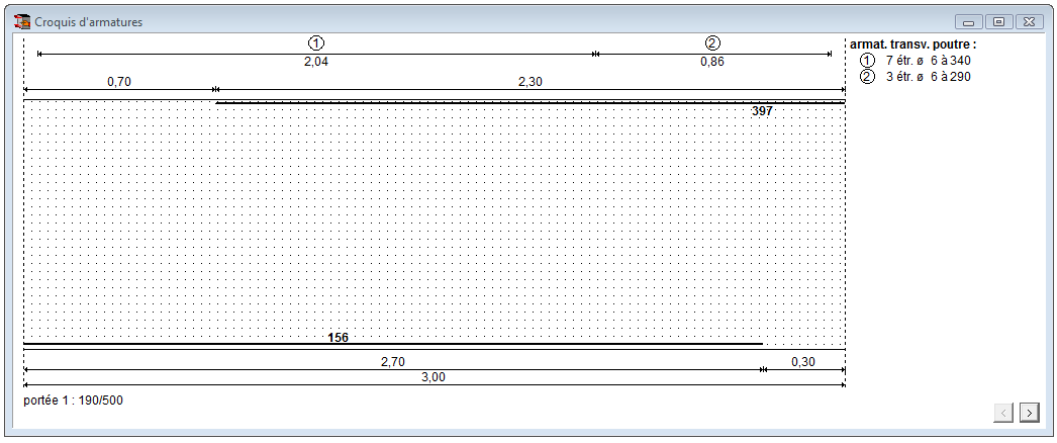


Figure 50: Croquis d'armatures - troisième exemple

5.3. Ajouter et enlever des types de charges

5.3.1. Changement direct des données introduites

Si on s'est trompé dans le nombre des types de charges lors de l'introduction des données, on peut corriger ce nombre en cliquant avec la souris sur le nombre dans la fenêtre "**Structure et charges**". Ensuite, tapez le nombre corrigé et confirmez par ENTER ou RETURN. La modification peut être effectuée lors de l'introduction tant qu'on se trouve encore dans l'introduction du premier type de charge, ou après que

l'introduction des données soit terminée. Si le nouveau nombre de types de charges est inférieur à l'ancien nombre, les derniers types de charges seront éliminés; si le nouveau nombre est supérieur à l'ancien, le logiciel ajoute autant de types que cela est nécessaire, tous initialisés avec des valeurs de charges égales à zéro.

5.3.2. Modifier à l'aide de la touche droite de la souris

On peut modifier les cas de charges à l'aide du bouton droit de la souris: modifier le nom du cas de charges, supprimer, insérer et dupliquer un cas de charges ou encore effacer toutes les valeurs des charges dans un cas de charges.

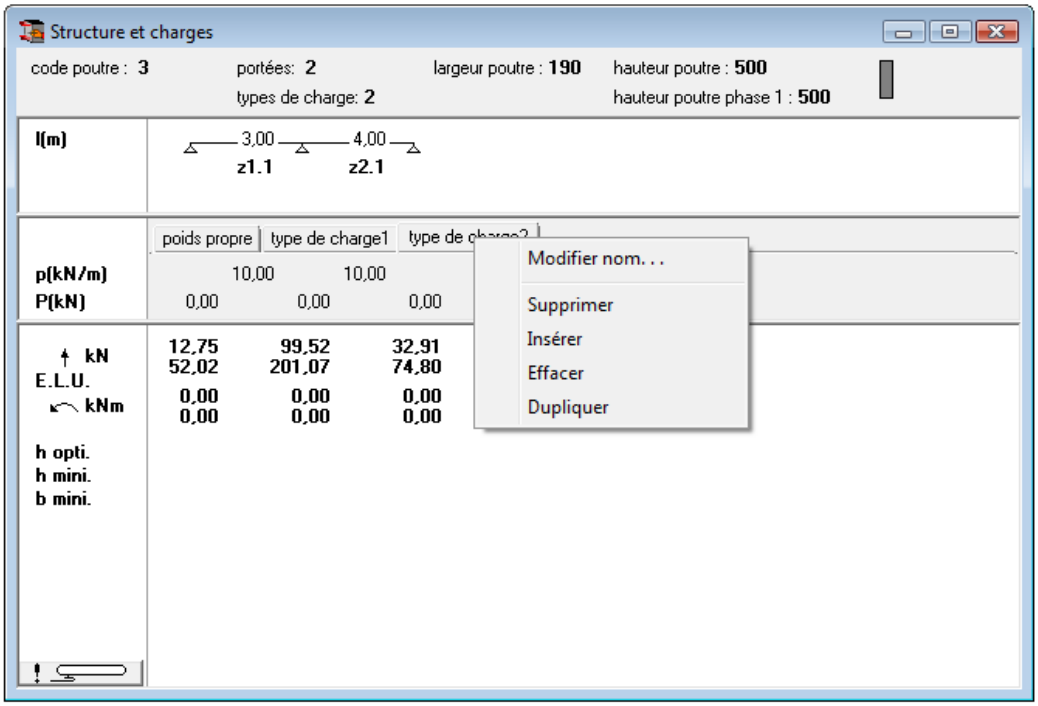


Figure 51: Menu flottant – charges

***Attention**: En insérant un cas de charges, par défaut ce cas de charges aura les facteurs de sécurité et de pondération correspondant à une surcharge. Veuillez vérifier les facteurs de pondération et de combinaison après avoir supprimé, inséré ou dupliqué un cas de charges. Voir 4.6.*

CHAPITRE 6 Un projet complet de poutres

6.1. Introduction

Jusqu'à présent, nous avons vu comment calculer une poutre avec ConCrete. Dans le chapitre 3, nous avons même mentionné (voir point 3.1) que, lors de l'introduction d'une nouvelle poutre, la poutre précédemment spécifiée était placée dans la fenêtre **Liste de projet**. Dans ce chapitre, nous verrons plus en détail la structure et l'intérêt de cette liste de projet.

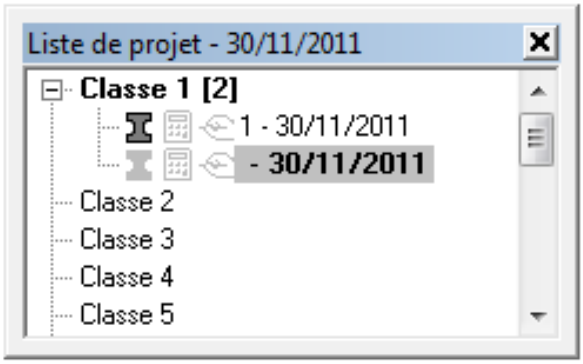


Figure 52: Liste de projet

Cette liste peut comporter un nombre de groupes (ou classes). Chaque groupe (chaque classe) peut contenir un nombre d'éléments (poutres et/ou dalles).

Dans la Figure 52, il y a un groupe (Classe 1), contenant un élément (1), c'est à dire l'élément avec comme nom 'premier exemple'. C'est élément a été traité à la date indiquée.

En tête de la fenêtre de dialogue se trouve la dernière date de modification d'un élément du projet.

Le nom de l'élément qui est actif, c'est-à-dire qui se trouve à l'écran pour édition, est en gris pour le distinguer des autres éléments.

Les icônes devant le nom de l'élément indiquent:

La première icône indique le type d'élément:

- poutre;
- dalle;
- hourdis (si l'on dispose du module pour calculer des hourdis);

La deuxième icône indique si l'élément a été calculé et si ces dimensions sont suffisantes:

- pas encore calculé;
- calculé, mais de dimension non suffisante;
- calculé et OK;

La troisième icône indique si le dessin de l'élément a été fait avec ConCrete Plus.

- pas encore dessiné;
- déjà dessiné;

Supposez que vous ayez un projet englobant trois immeubles, à savoir: A, B et C, qui sont chacun composés d'un sous-sol, d'un rez-de-chaussée et de dix étages. Si nous considérons toutes les poutres du projet présent, il est probable que nous en ayons plus d'une centaine. Mais parmi cette centaine de poutres, il est également probable que nous puissions faire des regroupements. Nous pourrions donc constituer des groupes en fonction des immeubles ou des étages. Un tel groupe sera appelé une **classe**. Le programme ConCrete permet de définir jusqu'à 20 classes différentes, chacune regroupant un maximum de 100 poutres (et/ou dalles).

Les éléments sont automatiquement rangés suivant ordre alphabétique (séquence: ABC…XYZabc…xyz012…789).

Le nom d'un élément est limité à 256 caractères.

6.2. Définition des classes

6.2.1. Choisir des classes

Reprenons maintenant notre exemple décrit au point 6.1 regroupant une centaine de poutre. Nous allons répartir ces différentes poutres dans les classes suivantes:

KA: tous les éléments du sous-sol du bloc A;
GA: tous les éléments du rez-de-chaussée du bloc A;
TA: tous les éléments des étages du bloc A;
KB: tous les éléments du sous-sol du bloc B;
GB: tous les éléments du rez-de-chaussée du bloc B;
TB: tous les éléments des étages du bloc B;
KC: tous les éléments du sous-sol du bloc C;
GC: tous les éléments du rez-de-chaussée du bloc C;
TC: tous les éléments des étages du bloc C.

6.2.2. Introduire les classes

Sélectionnez dans le menu "**Edition**" la commande "**Liste des classes...**" (Figure 53):

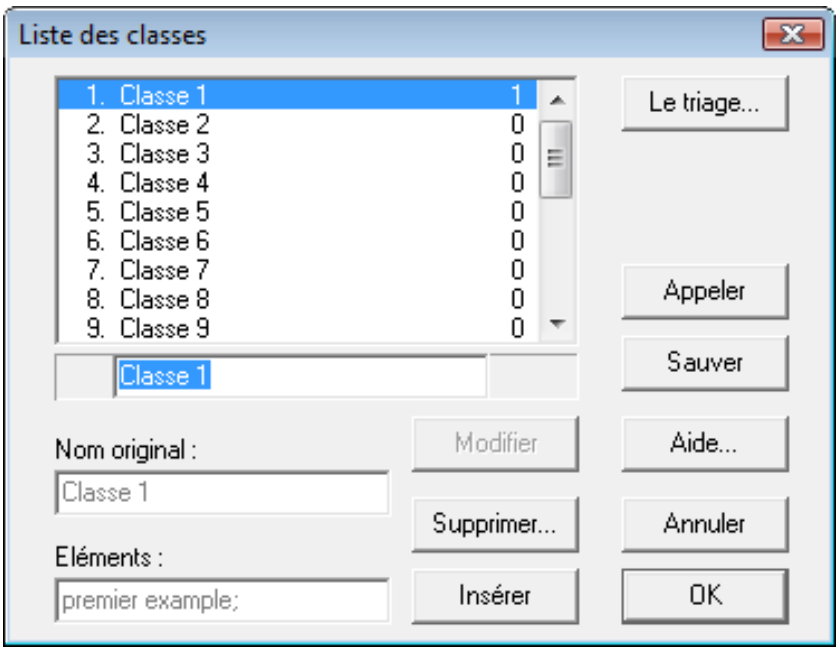


Figure 53: Introduire les classes

Dans le cadre se trouvent les noms des classes déjà introduites (en ce moment une classe: classe 1).

Les cinq boutons à droite ont les fonctions décrites sous 4.1.

Introduisez le nom “KA” et cliquez “**Insérer**”. La classe KA s’ajoute à la liste des classes.

Pour changer le nom d’une classe, il suffit de la sélectionner, d’introduire le nouveau nom pour cette classe et de cliquer “**Modifier**”.

Introduisez les noms des autres classes (Figure 54).

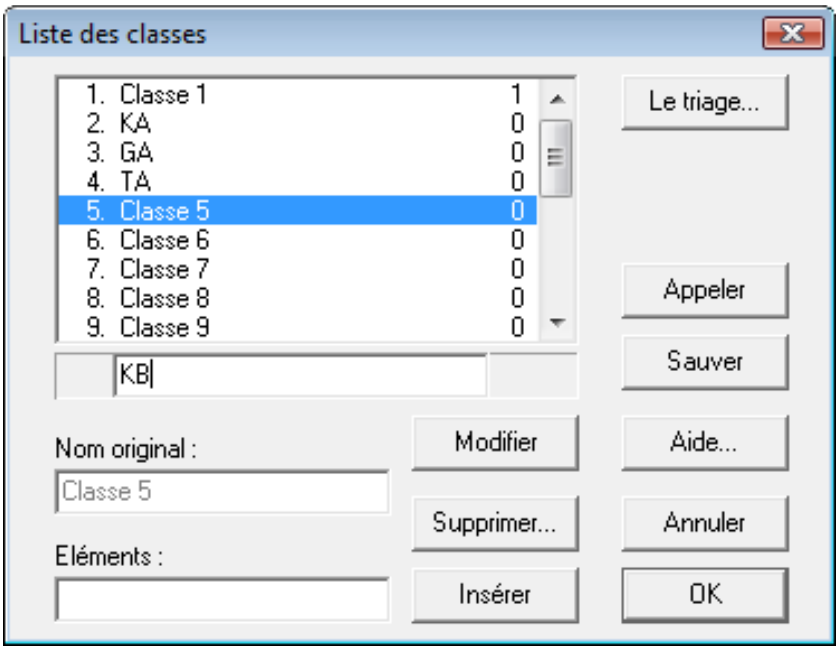


Figure 54: Modifier la liste

Pour effacer une classe, sélectionnez-la dans la liste. Lorsque vous effacez une classe, tous les éléments qui se trouvent dans cette classe seront également effacés.

A droite de chaque nom de classe, est indiqué le nombre d'éléments (de poutres et de dalles) qui se trouvent dans la classe.

6.2.3. La liste de projet

Après fermeture de la fenêtre de dialogue, la fenêtre **Liste de projet** se présente comme suit:

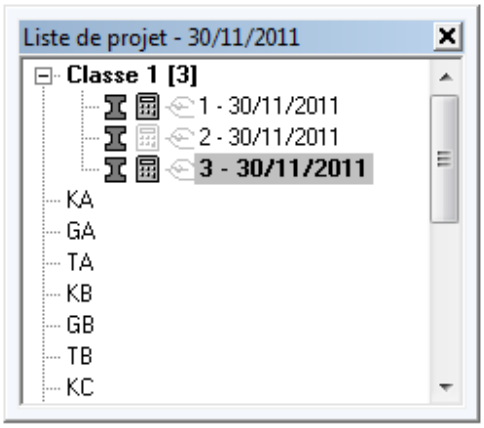


Figure 55: Liste de projet - les classes introduites

Sous le nom "Classe 1" se trouvent les éléments introduits.

Les signe "+" et "-" indique qu'une classe contient des éléments. Le signe "-" est utilisé si la classe est ouverte. Pour ouvrir une classe cliquez le signe "+", pour fermer le signe "-".

Utiliser le bouton droit de la souris pour ouvrir ou fermer toutes les classes:

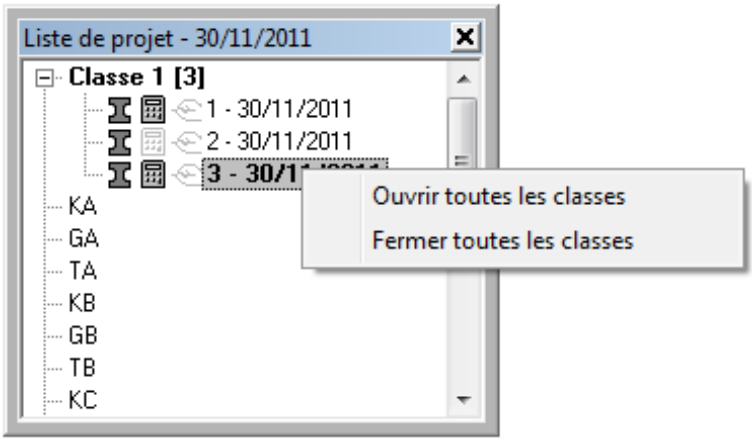


Figure 56: Menu flottant - liste de projet

6.3. Placement d'un élément dans une classe particulière

Lors de la création d'un élément nouveau, celui-ci sera automatiquement situé dans la classe sélectionnée.

S'il n'y a pas encore de classe, un classe nommée "Classe 1" sera automatiquement créée et l'élément sera situé dedans.

Il est possible de changer un élément de classe par après.

6.4. Rappel d'un élément figurant dans une classe particulière

Un double clic sur une classe ou un simple clic sur le signe "+" devant le nom de la classe ouvre cette classe et montre tous les éléments qui sont dedans.

Pour mettre à l'écran un élément spécifique, faites un double clic sur son nom ou sélectionnez-le et choisissez l'instruction "Elément" - "Modifier" ou cliquez sur . L'élément sera alors affiché dans les fenêtres "Structure et charges", "Diagrammes des efforts" et "Croquis d'armatures".

S' il y avait déjà un élément à l'écran, celui-ci est remis dans sa classe.

6.5. Déplacement d'un élément vers une autre classe

Pour déplacer un élément vers une autre classe, il suffit de le glisser à l'aide de la souris de la classe où il se trouve, vers la classe souhaitée.

6.6. Duplication d'un élément

Supposez que vous deviez calculer deux éléments pratiquement identiques. Vous pouvez commencer par calculer le premier élément et ensuite effectuer une copie afin de le modifier en fonction de ces paramètres spécifiques. Pour arriver à ce résultat, procédez de la manière suivante.

Introduisez d'abord les paramètres du premier élément. Sélectionnez ensuite cet élément dans la fenêtre **Liste de projet**. Choisissez la commande "**Dupliquer**" figurant dans le menu "**Elément**" ou cliquez sur .

La copie étant la réplique parfaite de la poutre venant d'être introduite, vous pouvez alors effectuer vos modifications sans que celles-ci n'influent sur la première poutre.

Dans 6.9, on verra comment on peut copier des éléments d'un projet vers un autre, à l'intérieur de ConCrete ou de ConCrete vers ConCrete Plus (et vice versa).

6.7. Suppression d'un élément

Pour supprimer un élément, sélectionnez-le dans la fenêtre **Liste de projet**. Cliquez ensuite sur la commande "**Supprimer**" figurant dans le menu "**Elément**" ou cliquez sur . L'élément est alors supprimé.

6.8. Modification des éléments figurant dans différentes classes

Pour modifier un élément figurant dans une classe spécifique, appelez d'abord cet élément selon la procédure décrite au point 6.4. Lorsque cet élément est extrait, introduisez vos modifications.

Si vous souhaitez ensuite modifier un élément figurant dans une autre classe, il suffit de faire un double clic sur la classe, puis sur l'élément.

6.9. Duplication des éléments entre différents projets

Pour copier un élément d'un projet vers un autre projet, appelez d'abord cet élément dans le premier projet selon la procédure décrite au point 6.4. Sélectionnez ensuite la commande "**Copier**" dans le menu "**Edition**". Ensuite, ouvrez le projet où vous voulez placer la copie de l'élément. Là, vous sélectionnez la classe vers laquelle vous voulez copier l'élément, et enfin vous sélectionnez la commande "**Coller**" dans le menu "**Edition**". L'élément se trouve maintenant aussi dans le nouveau projet et peut être traité comme tout autre élément.

CHAPITRE 7 Poutres spéciales

7.1. Poutres de sections T, I, L et Z.

Avec ConCrete, il est loisible d'introduire non seulement des sections rectangulaires, mais aussi des sections T, I, L et Z. De plus, les sections peuvent différer de zone en zone. Dans le cas d'une poutre ayant une section constante sur toute sa longueur, vous pouvez introduire une telle section en cliquant avec la souris dans le rectangle gris figurant au coin supérieur droit de la fenêtre "**Structure & charges**". En effet, le rectangle représente la section de la poutre (Figure 57):

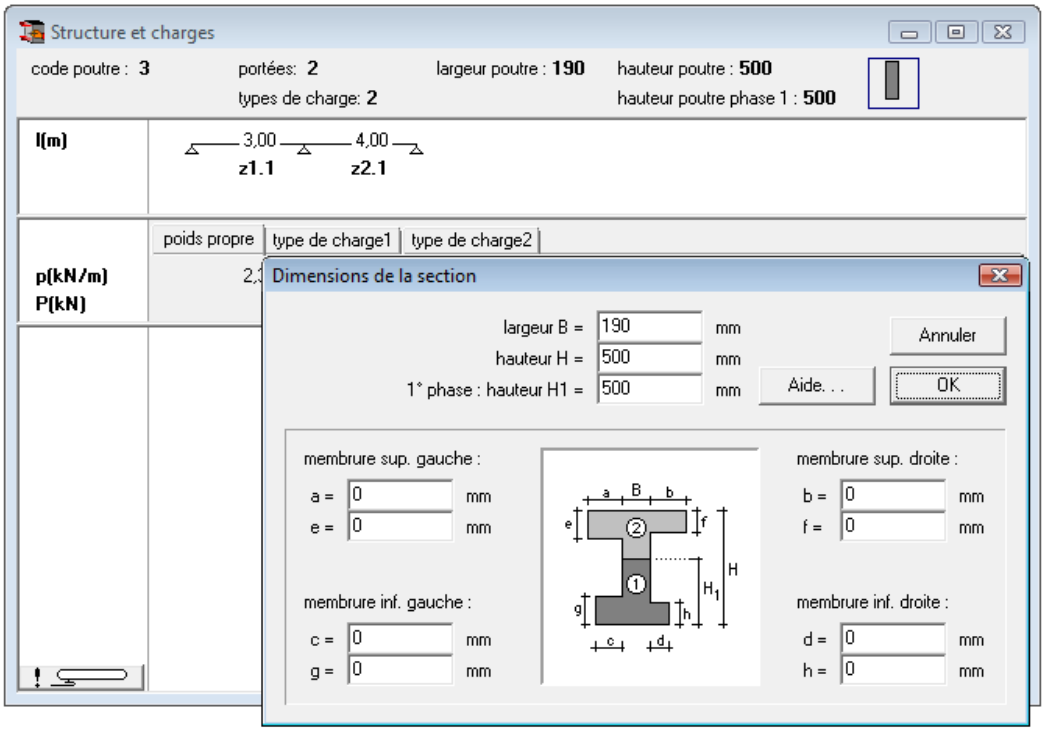


Figure 57: Dimensions de la section

Dans le cas d'une poutre à section variable, vous pouvons modifier la section zone par zone en cliquant avec la souris sur l'esquisse de la section sous "z_._" de la zone considérée (z2.1 dans la Figure 57). De nouveau, la fenêtre de dialogue de la Figure 57 s'affiche à l'écran. Cette fois-ci, elle n'est valable que pour cette seule zone.

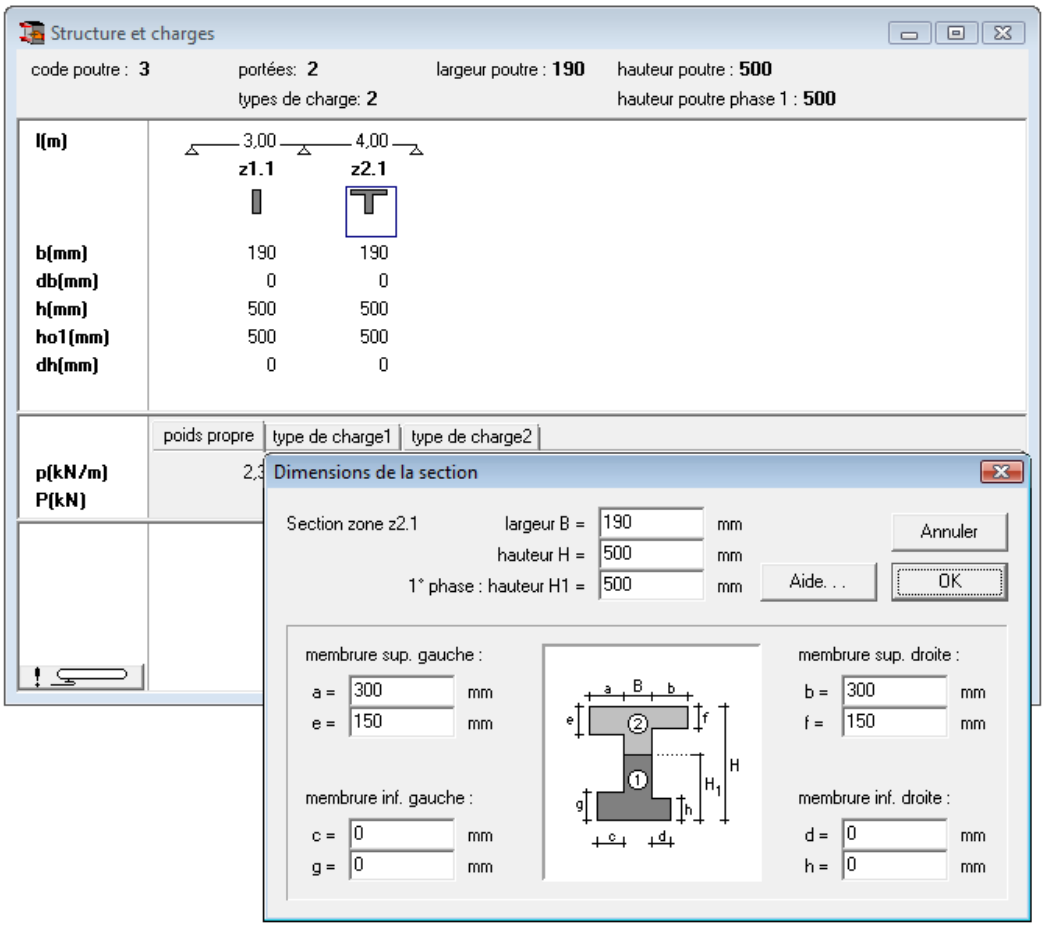


Figure 58: Structure & charges - sections variables

Dans cette fenêtre de dialogue, vous pouvez introduire les dimensions des membrures. Il vous est possible d'introduire quatre membrures: deux membrures supérieures et deux membrures inférieures, chaque fois une à gauche et une à droite. La largeur des membrures (les dimensions a, b, c et d) peuvent avoir des valeurs positives ainsi que des valeurs négatives; des valeurs négatives sont utilisées pour découper un petit rectangle de l'âme de la poutre (Figure 59), des valeurs positives signifient qu'une membrure est ajoutée à l'âme (Figure 60). L'épaisseur des membrures (les dimensions e, f, g et h) doivent impérativement avoir des valeurs positives (ou zéro). Remarquez que vous pouvez aussi modifier la largeur, la hauteur et la hauteur de la première phase (v. 7.3).

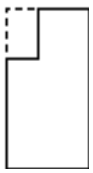


Figure 59: Valeurs négatives

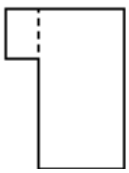


Figure 60: Valeurs positives

Comme déjà décrit précédemment au point 4.3, nous pouvons indiquer dans la fenêtre de dialogue pour les paramètres du béton si le

programme doit oui ou non ajouter le poids propre des membrures. Pour la détermination de l'armature transversales dans les membrures, veuillez consulter le chapitre 12.

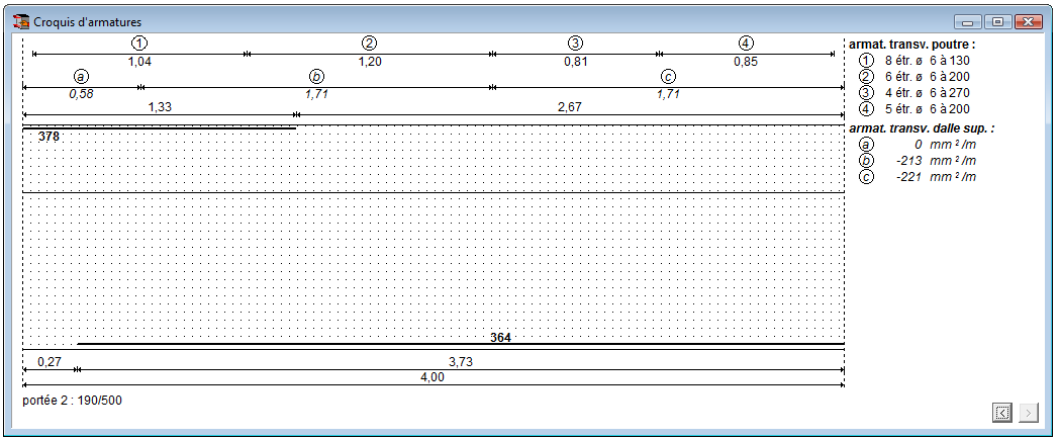


Figure 61: Croquis d'armatures - détail dalle

Si nous spécifions dans la fenêtre de dialogue pour les paramètres de l'acier (Figure 37) de montrer ces armatures transversales, la fenêtre "**Croquis d'armatures**" apparaît telle que représentée à la Figure 61.

Comme pour l'armature transversale de l'âme, on retrouve une ligne de cotes surmontée cette fois-ci des lettres entourées "a", "b" et "c" en-dessous desquelles figurent les nombres "1.08", "1.04" en "0.88", en italique. Les lettres entourées ont de nouveau trait à l'armature transversales dans les membrures et constituent les références des informations affichées à la droite de la poutre. Les nombres se trouvant sous la ligne indiquent les distances, exprimées en m, auxquelles les zones sont valables. Les informations affichées à la droite de l'écran, indiquent la quantité d'acier exigée en mm² (perpendiculaire au plan du dessin) par m longueur de poutre. Des valeurs négatives nous donnent une idée de la réserve. Cette indication de réserve peut être intéressante: la norme ne limite que la moyenne sur la distance entre le moment zéro et le moment maximum. ConCrete vous donne une indication plus précise: des zones où le moment augmente plus auront plus d'amatures transversales que les zones où le moment augmente moins. C'est donc tout-à-fait possible que ConCrete indique dans une certaine zone une réserve et dans la zone adjacente une quantité d'acier exigée, et que la norme n'exige aucune armature transversale; ConCrete vous indique la réserve enfin de vous donner la possibilité de calculer la moyenne sur toutes les zones qui se trouvent entre le moment zéro et le moment maximum.

7.2. Poutres sur sol élastique

Jusqu'à présent nous n'avons calculé que des poutres qui n'étaient supportées par des appuis discrets (fixes ou élastiques). Si nous voulons calculer une poutre qui pose sur le sol, ces appuis discrets ne suffirons pas pour simuler le support continu. De telles poutres sont traditionnellement calculées comme des "poutres sur sol élastique". En introduisant une constante k d'élasticité du sol, on spécifie la résistance du sol.

ConCrete ne calcule pas que les poutres sur sol élastique continu. Dans ConCrete, il vous est également possible d'introduire une constante d'élasticité du sol différente par zone et d'introduire en plus des appuis discrets (fixes ou élastiques). L'importance de pouvoir introduire une constante d'élasticité du sol par zone, se voit à partir des exemples suivants:

- une poutre sur sol de caractère non homogène, p. e. il y a un petit ruisseau qui traverse le terrain et malheureusement aussi à l'endroit où la poutre se trouve;
- une poutre est supportée par deux colonnes en béton et un mur en briques assez large;
-

Dans le premier exemple, nous pouvons tenir compte du ruisseau en introduisant dans cette zone une constante d'élasticité du sol très modeste (ou bien une valeur zéro). Dans le cas du deuxième exemple, les colonnes en béton peuvent être introduite par des appuis fixes (ou élastiques), le mur en briques doit être introduit comme une zone avec une constante d'élasticité très grande. Dans les deux exemples il est presque impossible d'obtenir un résultat précis si on ne peut calculer que des poutres sur appuis discrets et des poutres sur sol élastique constante sur toute la longueur.

Pour pouvoir introduire une constante d'élasticité du sol par zone, cliquez sur la quatrième icône de la deuxième palette (Figure 4) et sélectionnez l'option "**sol élastique**":

Figure 62: Palette ‘Données d’entrée’ - bouton sol élastique

Dans la fenêtre "**Structures & charges**", en dessous des noms des zones, une ligne s'est ajoutée précédée de "k(N/cm³)" (Figure 62). Cette ligne sert à l'introduction des constantes d'élasticité. La **constante d'élasticité** donne le rapport entre la déformation et la réaction du sol:

$$q(x) = k \,.\, v(x)$$

avec

- q la réaction (force / surface)
- k la constante d'élasticité
- v la déformée

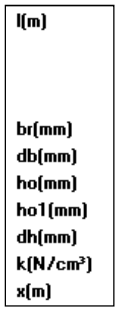


Figure 63: Structure & charges - liste totale des unités

En abscence des données plus précises, la valeur k de l'élasticité du sol peut être déterminée comme suit:

- pour des sols argileux:

$$k = \frac{0.5 \cdot \frac{q_r}{b} \cdot (l + 0.5 \cdot b)}{1.5l}$$

avec

- q_r la résistance du sol en N/cm²
- b la largeur de la poutre en m
- l la longueur de la poutre en m

- pour des sols sableux:

$$k = k_1 \cdot \left(\frac{b + 0.3048}{2 \cdot b}\right)^2$$

dont la valeur k_1 est répertoriée dans le tableau 1.

sable	peu dense	moyennement dense	trés dense
$k_1(in\ N/cm^3)$	$2.7 - 8.1$	$8.1 - 40$	$40 - 136$

tableau 1

Les données ci-dessus sont tirées de Campus F., "Contribution à l'étude des pièces fléchies dans le sol. Application aux pieux et palplanches", Mémoire du Centre d'Etudes, de Recherches et d'Essais Scientifiques du Génie Civil de l'Université de Liége, N° 39, Avril 1972.

7.3. Poutres en deux phases

Aujourd'hui, de plus en plus les poutres sont partiellement préfabriquées avant qu'elles arrivent au chantier. Après la mise en place au chantier, on coule la deuxième phase, éventuellement en même temps avec le coulage des dalles. Dans certains cas, la partie préfabriquée de la section est utilisée pour tenir déjà certaines charges, sans qu'on aie besoin des étais supplémentaires. Dans ces cas, il faut faire attention aux zones de support ! Les poutres sont alors préfabriquées par portée et ces poutres partielles seront chargées de manière isostatique avec leur poids propre et, par exemple, le poids propre des prédalles qui sont posées sur ces poutres, ensemble avec le poids propre du deuxième coulage du béton. Une fois que le béton du deuxième coulage est durci, la section totale travaille dans un système hyperstatique (poutre continue).

Dans le logiciel ConCrete, vous avez la possibilité de prendre en compte ces deux phases de coulage lors du calcul. Il faut introduire deux choses:

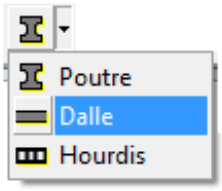
- 1° Pour chaque section, vous indiquez jusqu'à quelle hauteur la section sera coulée dans une première phase, c.-à-d. quelle est la hauteur de la partie préfabriquée de la section. Cette hauteur est indiquée dans le logiciel avec le terme "ho1" et est par défaut égale à la hauteur totale "ho". Vous pouvez modifier cette valeur dans la fenêtre "**Structure & Charges**", juste comme vous modifiez les autres valeurs dans cette fenêtre, ou en cliquant avec la souris sur l'esquisse de la section (v. 7.1) et en modifiant ensuite la valeur dans la fenêtre de dialogue.
- 2° Dans la fenêtre de dialogue pour les charges (v. 4.6), vous indiquez quelles charges doivent être appliquées sur la section de la première phase (section préfabriquée) et quelles charges sur la section totale (section deuxième phase). Des charges qui sont présentes dans la première phase peuvent restées présentes dans la deuxième phase, quand même celles-ci ne seraient pas nécessaires. Naturellement, il est également possible d'introduire des charges qui ne sont présentes que dans la deuxième phase.

Lors du calcul des sections d'armatures et des contraintes dans le béton et l'acier, le logiciel tient compte des deux phases, comme déjà décrit au point 4.6. Pour être complet, nous remarquons que les ouvertures des

fissures et la déformation en état de fissuration ne prennent en compte que la deuxième phase.

7.4. Dalles coulées en deux phases

Avec ConCrete, vous pouvez également modéliser des dalles en béton. Sélectionnez la commande "**Nouvelle dalle**" dans le menu "**Elément**" ou choisissez via les icônes comme illustré ci-dessous.



Les dalles portent dans une direction. Elles peuvent également être coulées en deux phases (Figure 64).

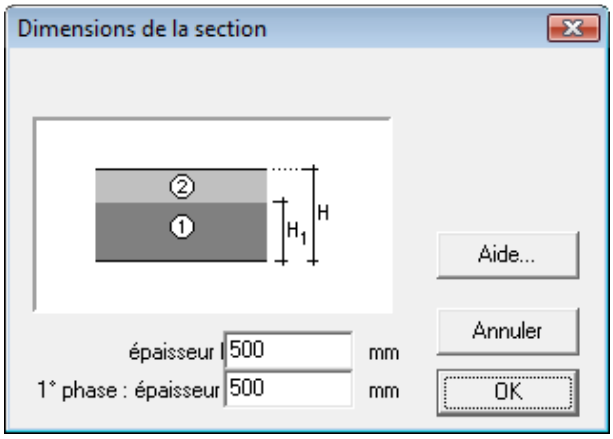
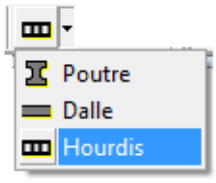


Figure 64: Dimensions de la section

7.5. La bibliothèque des hourdis

<u>Remarque:</u> Cette fonctionnalité n'est pas disponible dans la version standard. Seule la version ConCrete Master permet le calcul des hourdis.

Finalement, il y a la possibilité de définir et calculer des hourdis en béton. Sélectionnez la commande "**Nouvel hourdis**" dans le menu "**Elément**" ou choisissez l'icône appropriée:



Pour définir un nouvel hourdis, cliquez sur “**Edition**” - “**Bibliothèque des hourdis**”. La fenêtre suivante apparaît:

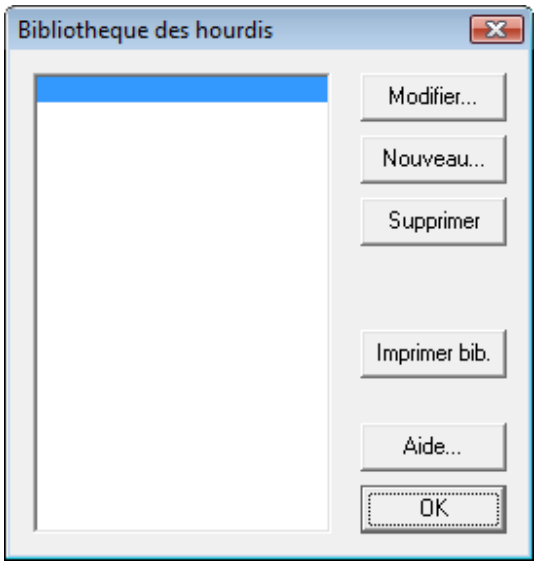


Figure 65: Bibliothèque des hourdis

Choisissez “**Nouveau**” pour définir un nouvel élément. Après avoir rempli les données géométriques, vous cliquez sur “**OK**” pour que ConCrete les garde en mémoire.

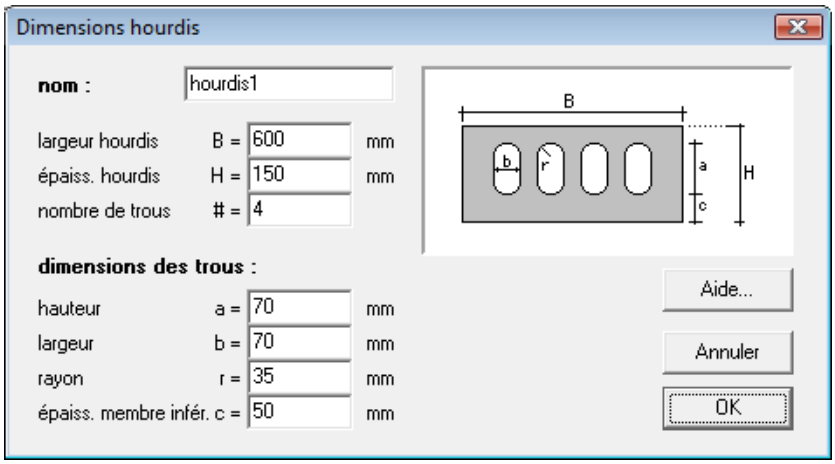


Figure 66: dimensions hourdis

CHAPITRE 8 Enregistrer, ouvrir et fermer

8.1. Enregistrement d'un nouveau projet

Si vous souhaitez enregistrer votre travail dans un document sur disque dur ou sur une autre unité, sélectionnez la commande "**Enregistrer sous...**" dans le menu "**Fichier**". Le programme vous propose alors d'enregistrer le projet sous le même nom que la référence du projet que vous aviez introduit au point 2.2. Il vous est toutefois loisible d'utiliser un autre nom. Dans ce cas, ce nom devient le nouveau titre de la fenêtre **Liste de projet**. Vous pouvez sauvegardez votre projet en format binaire (type ConCrete) ou sous format texte (type ConCrete Txt). Ce dernier format vous permet de transférer des fichiers entre les versions Windows et les versions Macintosh de ConCrete et ConCrete Plus.

8.2. Ouverture d'un projet existant

Pour ouvrir un projet existant dans ConCrete, sélectionnez la commande "**Ouvrir**" dans le menu "**Fichier**". Le titre de la fenêtre **Liste de projet** est alors identique au nom du fichier ouvert. Outre les documents qui ont été réalisés avec ConCrete, vous pouvez également ouvrir un document qui a été élaboré avec ConCrete Plus. Si vous ouvrez par exemple un projet contenant 10 poutres qui ont déjà été dessinées avec ConCrete Plus, vous pouvez alors modifier les cotes de ces poutres ou ajouter de nouvelles poutres dans le projet. Les poutres qui ont déjà été dessinées avec ConCrete Plus et dont les cotes sont modifiées dans ConCrete perdront cependant leurs plans de ferraillage. Par contre, les autres poutres du projet conserveront leurs plans.

8.3. Enregistrement d'un projet existant

Il existe deux procédures vous permettant d'enregistrer un projet existant dans ConCrete.

La première procédure consiste à enregistrer une seconde fois le document sous la même dénomination en sélectionnant la commande "**Enregistrer**" dans le menu "**Fichier**". Vous ne pouvez sélectionner cette commande que si vous avez apporté des modifications au projet précédemment enregistré. Lors de l'enregistrement, toutes les données qui avaient déjà été ajoutées au projet dans ConCrete Plus, sont également sauvegardées, à l'exception toutefois de celles décrites au point 8.2. La commande "**Enregistrer**" sauvegarde toujours le projet en format binaire (type ConCrete).

La deuxième procédure consiste à enregistrer le projet sous un nouveau nom en sélectionnant la commande "**Enregistrer sous...**" dans le menu "**Fichier**". Contrairement à la commande décrite ci-dessus, cette commande peut toujours être sélectionnée.

8.4. Sauvegarde automatique

Si vous souhaitez protéger vos fichiers contre la perte de données éventuelle (panne de courant, etc.), sélectionnez la commande "**Sauvegarde automatique**" dans le menu "**Préférences**". Lorsque cette option est activée, vous remarquerez que le signe "☑" est affiché. Dans le cas contraire, cette option n'est pas indiquée.

Si vous avez activé cette option, le programme sauvegardera automatiquement les données selon les options que vous aurez indiqués. Sélectionnez la commande "**Sauvegarde automatique**" - "**Préférences**":

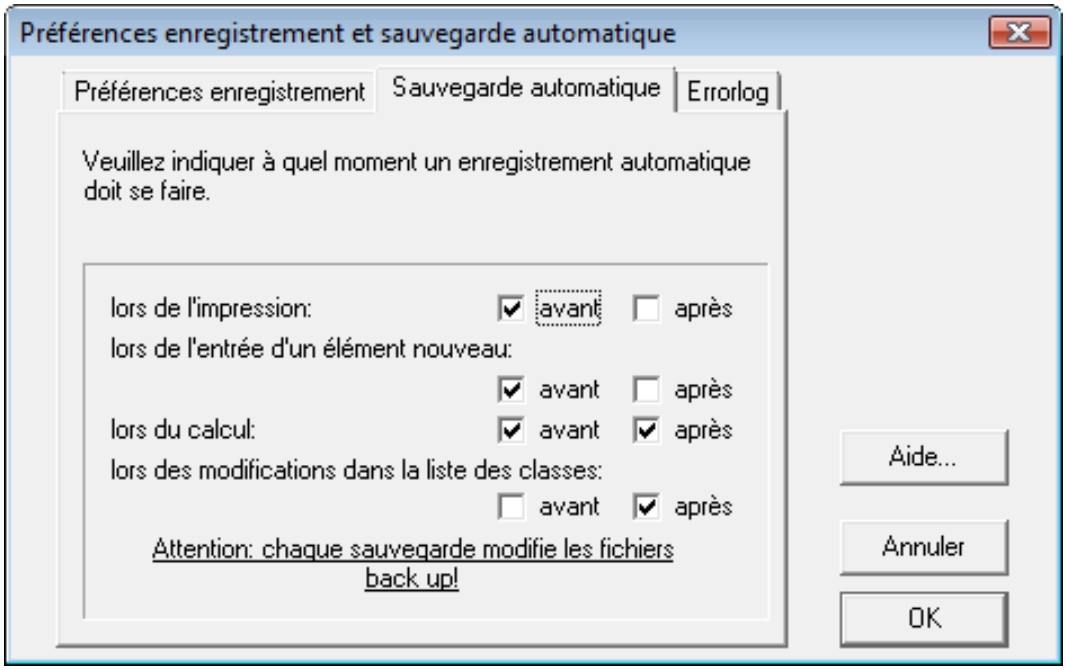


Figure 67: Sauvegarde automatique

La procédure décrite ci-dessus ne vous offre toutefois qu'une sécurité relative. Il vous est par conséquent recommandé de toujours effectuer une copie de sauvegarde (back-up) de vos projets. En effet, ConCrete peut faire des copies automatiquement: sélectionner la page "**Préférences enregistrement**" pour les détails:

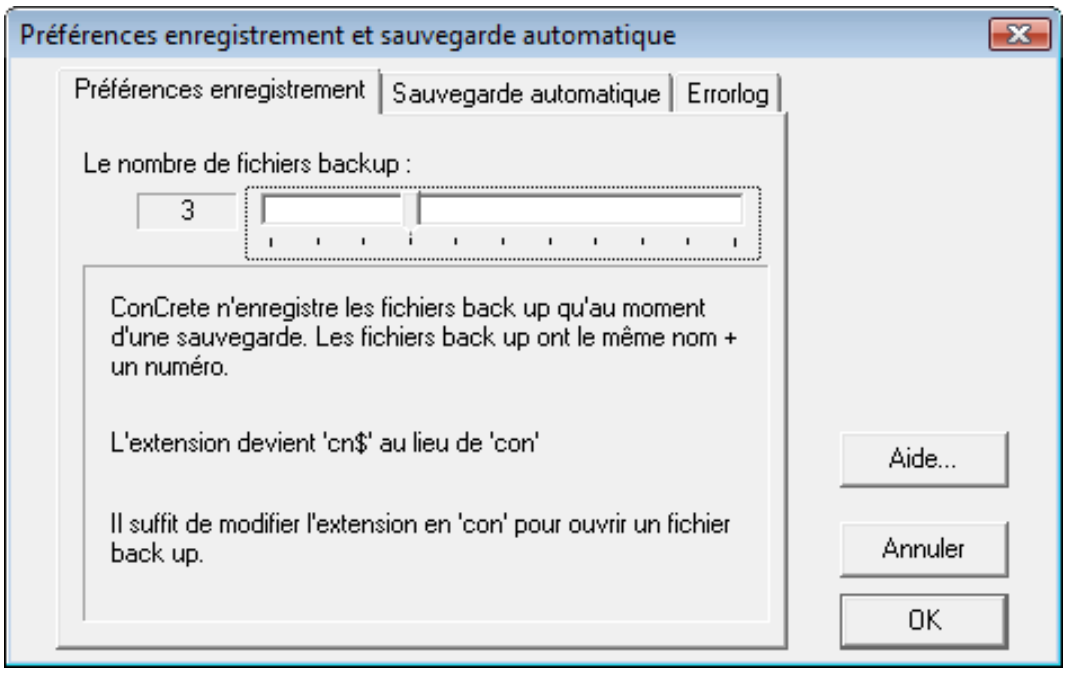

Préférences enregistrement et sauvegarde automatique
Préférences enregistrement
Sauvegarde automatique
Errorlog
Le nombre de fichiers backup :
3
ConCrete n'enregistre les fichiers back up qu'au moment d'une sauvegarde. Les fichiers back up ont le même nom + un numéro.
L'extension devient 'cn$' au lieu de 'con'
Il suffit de modifier l'extension en 'con' pour ouvrir un fichier back up.
Aide...
Annuler
OK

Figure 68: Préf. enregistrement

8.5. Fermeture d'un projet

Pour fermer un projet, sélectionnez la commande "**Fermer**" dans le menu "**Fichier**". Si le projet a été modifié et n'a pas encore été enregistré, le programme vous demandera automatiquement si vous souhaitez enregistrer les modifications.

8.6. Modification des données du dossier

Pour modifier les données du dossier, sélectionnez la commande "**Modifier...**" dans le menu "**Fichier**". Cette procédure affiche à nouveau la fenêtre de dialogue représentée à la Figure 2 dans laquelle il vous est loisible de modifier les données. A l'aide des quatre boutons d'option, il est possible de modifier une à une, dans la fenêtre de dialogue, les coordonnées du maître de l'ouvrage, de l'architecte, de l'entrepreneur ou de l'ingénieur.

8.7. Arrêt du programme

Pour sortir de ConCrete, sélectionnez la commande "**Quitter**" dans le menu "**Fichier**". Si vous vous trouvez dans un projet et que ce dernier a été modifié et n'a pas encore été enregistré, le programme vous demande automatiquement si vous souhaitez l' enregistrer.

CHAPITRE 9 Imprimer

9.1. Mise en page et options d'impression

La fenêtre de dialogue de l'imprimante est appelée par la commande "**Mise en page…**" dans le menu "**Fichier**".

Pour choisir les options d'impression, sélectionnez la commande "**Options d'impression…**" dans le menu "**Fichier**". La fenêtre de dialogue s'affiche alors à l'écran:

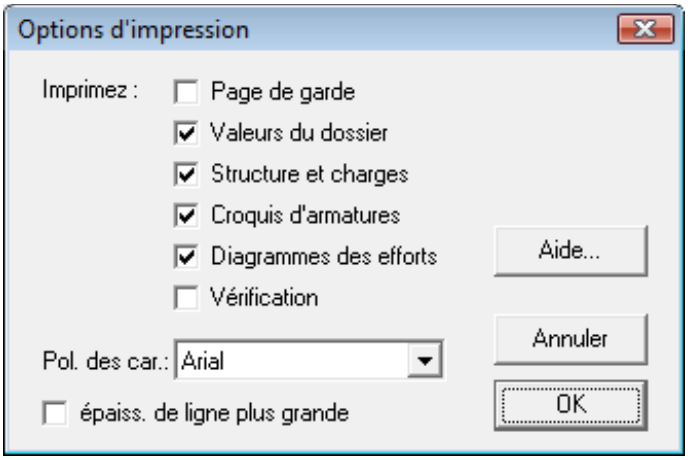


Figure 69: Options d'impression

L'option "**Page de garde**" vous permet d'imprimer une page de garde reprenant toutes les données du dossier figurant à la Figure 2. Avec l'option "**Valeurs du dossier**", on peut imprimer touts les paramètres de calcul: par commande d'impression une feuille avec les valeurs du dossier et par élément les différences avec les valeurs du dossier. Les trois autres options vous permettent d'imprimer ou non le contenu des fenêtres qui portent ces titres.

9.2. Impression de l'intégralité d'un projet

Pour imprimer l'intégralité d'un projet, sélectionnez la commande "**Imprimer le projet**" dans le menu "**Fichier**". Si à ce moment, un élément figure dans les fenêtres "**Structure & charges**", "**Croquis d'armatures**" et "**Diagrammes des efforts**", le programme placera cet élément dans la classe sélectionnée de la fenêtre **Liste de projet** avant d'imprimer tout le dossier, classe par classe et élément par élément. Une **page de garde** et une page reprenant les **valeurs du dossier** seront imprimées par projet, pour autant que ces options aient été sélectionnées. Par poutre, sont imprimées les données figurant dans la fenêtre "**Structure & charges**" suivies des **écarts** existant entre les valeurs actuelles des paramètres de calcul et les valeurs du dossier (pour autant que cette option ait été sélectionnée). Les données de la fenêtre "**Croquis d'armatures**" et/ou "**Diagrammes des efforts**" sont

ensuite imprimées. Le programme imprime une poutre par page. Une nouvelle page est également commencée lors de l'impression du contenu de la fenêtre "**Diagrammes des efforts**". En outre, le programme calcule toujours l'échelle des diagrammes pour que le graphe corresponde au format de papier sélectionné. Le code de référence et la date du projet sont imprimés sur chaque page. Vous trouverez également dans le coin supérieur droit le numéro de l'élément, précédé du nom de la classe.

9.3. Impression de l'intégralité d'une classe

Si vous souhaitez imprimer tous les éléments d'une classe particulière, sélectionnez d'abord cette classe dans la fenêtre **Liste de projet** et ensuite la commande "**Imprimer la classe**" dans le menu "**Fichier**". Cette commande opère comme décrit au point 9.2.

9.4. Impression d'un seul élément

Si vous sélectionnez la commande "**Imprimer l'élément**" dans le menu "**Fichier**", ConCrete imprimera l'élément figurant dans les fenêtres "**Structure & charges**", "**Croquis d'armatures**" et "**Diagrammes des efforts**". La commande opère comme décrit au point 9.2.

CHAPITRE 10 Astuces

10.1. Calcul automatique

Jusqu'à présent, le programme a toujours calculé un élément dès que ses paramètres avaient été introduits ou modifiés. Cependant, lorsque vous dupliquez une poutre afin d'y apporter certaines modifications, il est possible que vous ne souhaitiez pas que le programme interrompe vos opérations après chaque modification puisque les résultats générés ne vous sont d'aucun intérêt. Pour ce faire, désactivez l'option "**Calcul automatique**" dans le menu "**Préférences**". Le programme vous indiquera le message "fin de la poutre", lorsque vous avez terminé l'encodage ou la modification de vos données, sans pour autant recalculer votre poutre. Au moment où vous souhaitez faire calculer la poutre, sélectionnez la commande "**Calculer**" dans le menu "**Elément**".

10.2. Sons d'administration

Le programme ConCrete vous permet d'accompagner l'introduction de vos données d'un son particulier. Chaque grandeur (largeur, hauteur, longueur d'une portée, valeur d'une charge ponctuelle ou répartie) reçoit une tonalité particulière qui vous permettra d'accélérer l'introduction ou la modification des données. Pour ce faire, activez l'option "**Sons d'administration**" dans le menu "**Préférences**" (le signe "" est affiché à côté de l'option). Chaque question figurant dans la barre d'entrée est alors accompagnée d'une tonalité spécifique. Vous entendrez également cette tonalité lorsque vous sélectionnerez des données déjà entrées dans la fenêtre "**Structure & charges**". Si vous n'avez pas activé cette option, l'entrée et la modification des données est réalisée sur une base purement visuelle, c-à-d. par la question affichée dans la barre d'entrée.

10.3. Liaisons avec ConCrete Plus

Les liaisons entre ConCrete et ConCrete Plus sont triples.

Tout d'abord, le format des fichiers ConCrete et ConCrete Plus est identique. Il est donc parfaitement possible de poursuivre le traitement d'un projet réalisé avec ConCrete, dans ConCrete Plus et d'ensuite élargir de nouveau ce même projet dans ConCrete avant de le retransférer pour une deuxième fois vers ConCrete Plus (voir point 8.2).

De plus, ConCrete offre la possibilité de transmettre des messages vers ConCrete Plus. Cette opération peut s'avérer très utile lorsque la personne qui a calculé le projet avec ConCrete n'est pas la même que celle qui travaille avec ConCrete Plus. Pour introduire un message, cliquez sur la bulle de texte affichée dans le coin inférieur gauche de la fenêtre "**Structure & charges**". Une fenêtre de dialogue s'affiche alors à l'écran. Tapez votre message (Figure 70). Lorsque vous imprimerez

cette poutre, le message est imprimé en-dessous des données introduites. Si une personne ouvre cette même poutre dans le programme ConCrete Plus, elle voit s'afficher automatiquement une fenêtre de dialogue dans laquelle figure le message.

Vous pouvez aussi spécifier dans ConCrete les variations dimensionnelles tolérées entre le calcul selon ConCrete et le dessin selon ConCrete Plus. Si ces variations sont comprises dans les limites tolérées, aucun calcul supplémentaire ne sera nécessaire et les valeurs calculées seront automatiquement adaptées au dessin de la poutre. Pour spécifier de telles tolérances, sélectionnez la commande "**Tolérances...**" dans le menu "**Préférences**". La fenêtre de dialogue représentée à la Figure 71 s'affiche à l'écran.

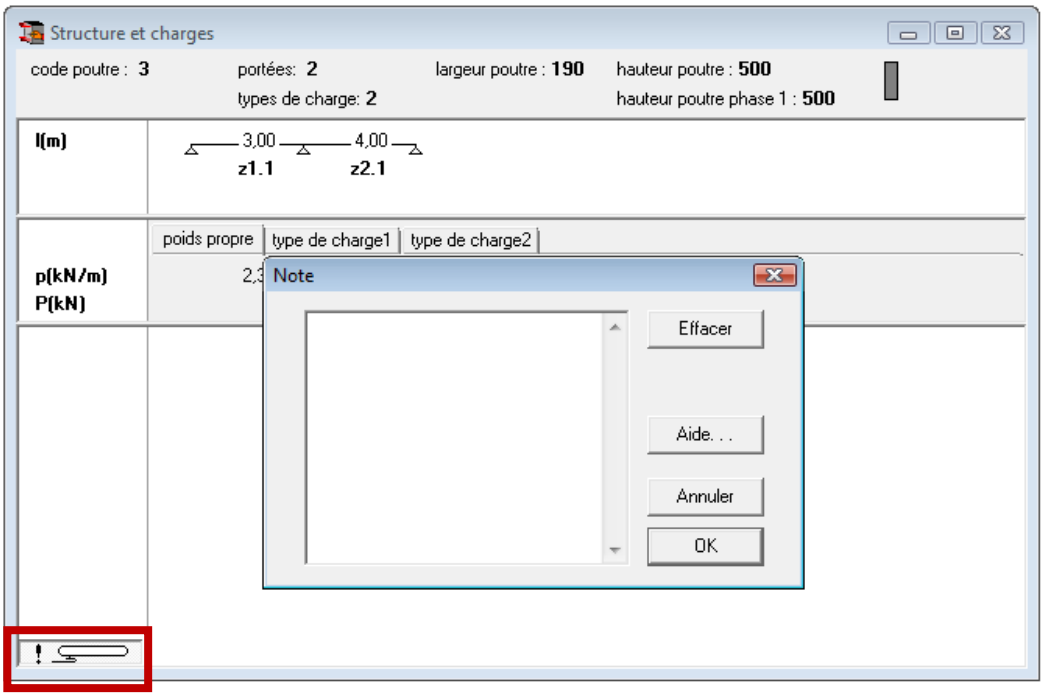


Figure 70: Note

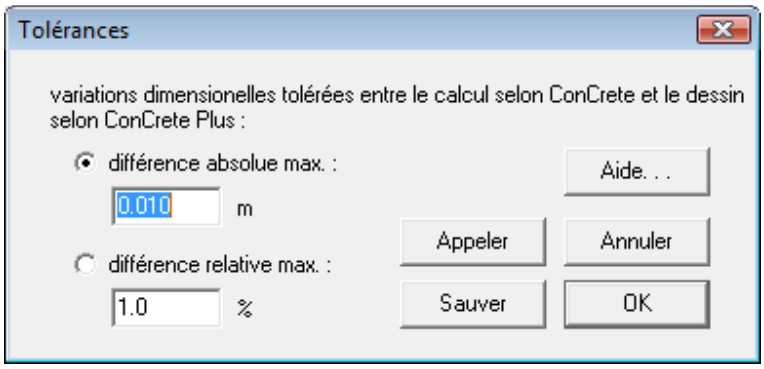


Figure 71: Tolérances

Ces tolérances ne portent pas sur la largeur des appuis. En effet, cette dernière n'est pas spécifiée dans ConCrete mais seulement dans

ConCrete Plus. La tolérance des longueurs de portée est valable pour la distance interaxiale des appuis.

Enfin, vous avez la possibilité, avec les commandes “**Copier**” “**Coller**” du menu “**Edition**”, d’échanger des éléments entre ConCrete et ConCrete Plus (v. 6.9).

ConCrete Plus existe comme un logiciel indépendant ou peut être intégré dans ConCrete comme une DLL. Dans le premier cas, utilisez la commande “**Transfert ConCrete Plus**” du menu “**Fichier**”. Si ConCrete Plus est intégré en ConCrete, cliquez sur l’icône . Plus d’information sur l’utilisation de ce module, reportez-vous au manuel de ConCrete Plus.

Remarquons qu'il est possible de créer des fichiers avec la version Macintosh de ConCrete et d'ouvrir ces fichiers avec la version Windows de ConCrete Plus, et vice versa. Pour cela, il est nécessaire de sauvegarder les documents sous format texte (type ConCrete Txt).

10.4. Affichage des diagrammes des autres efforts et/ou états-limites

Jusqu'à présent, la fenêtre "**Diagrammes des efforts**" contenait les diagrammes des moments fléchissants et des efforts tranchants à l’E.L.U., de la déformée sous la combinaison quasi-permanente (Q.-P.) et des armatures. Si vous souhaitez afficher d'autres diagrammes, sélectionnez la commande "**Diagrammes à montrer...**" dans le menu "**Préférences**" ou cliquez sur . La fenêtre de dialogue représentée à la Figure 72 s'affiche. Indiquez les diagrammes des efforts que vous souhaitez voir apparaître dans la fenêtre "**Diagramme des efforts**". L'échelle de la hauteur des diagrammes est toujours déterminée de façon à ce que les diagrammes sélectionnés soient correctement affichés.

Les diagrammes de la déformée et des angles de rotation sont calculés selon la méthode linéaire-élastique. Si nous indiquons l'option "**+ fissurée**", le programme calcule non seulement la déformation élastique mais aussi celle à l'état de fissuration, tenant compte des quantités d'armatures strictement requises par le calcul (v. 12.2.2.3). Cette déformation est indiquée en rouge dans la fenêtre "**Diagrammes des efforts**". La déformée sous la combinaison quasi-permanente doit être limitée à 1/250 de la portée; soit à 1/500 dans le cas où la déformée peut causer des dégâts aux autres éléments. Si l'option "**après fluage**" est indiquée, le fluage est pris en compte dans le calcul de la déformée élastique ainsi que dans le calcul de la déformée en état de fissuration.

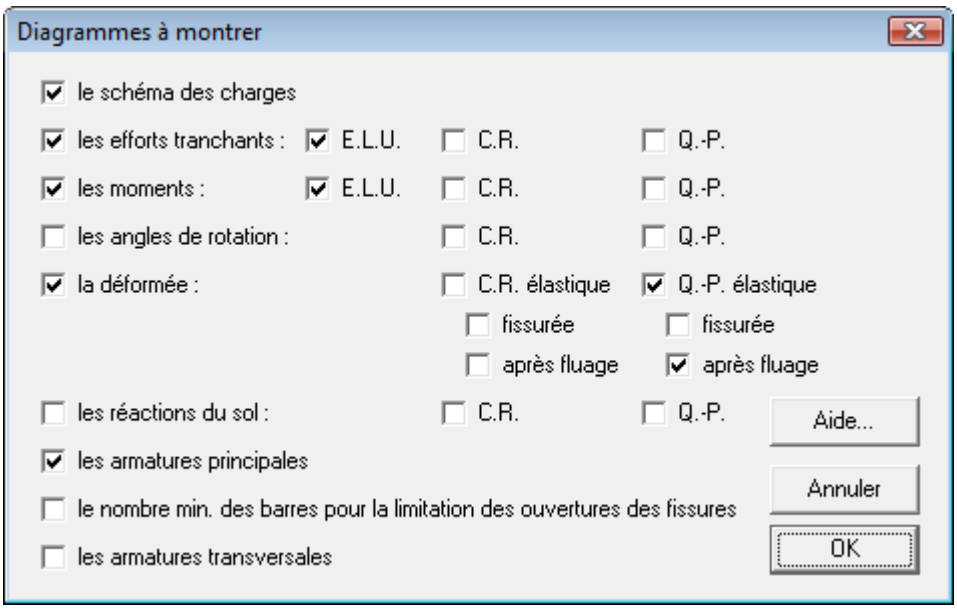


Figure 72: Diagrammes à montrer

Parce que nous n'avons pas encore spécifié de diamètre pour les barres, le calcul des ouvertures des fissures ne peut se baser que sur les sections strictement nécessaires par le calcul. Par contre, l'ouverture d'une fissure est très dépendante des diamètres des barres et de leurs nombres; ce qui fait qu'il est impossible de calculer les ouvertures de fissures à partir des sections d'armature strictement requises par le calcul. C'est la raison pour laquelle ConCrete fait le calcul inverse: ConCrete vous calcule le nombre minimum des barres qui est nécessaire pour ne pas passer l'ouverture des fissures maximale, supposant que sur toute la longueur de la poutre la section réalisée est égale à la section strictement requise par le calcul et que toutes les barres ont le même diamètre.

Jusqu'à présent, la fenêtre "**Structure & charges**" contenait les réactions verticales et d'encastrement à l'état-limite ultime (E.L.U.). Si vous souhaitez les réactions à l'état-limite de service sous les combinaisons rares (C.R.) ou la combinaison quasi-permanente (Q.-P.), sélectionnez la commande "**Résultats à montrer...**" dans le menu "**Préférences**" ou cliquez sur . La fenêtre de dialogue représentée à la Figure 73 s'affiche.

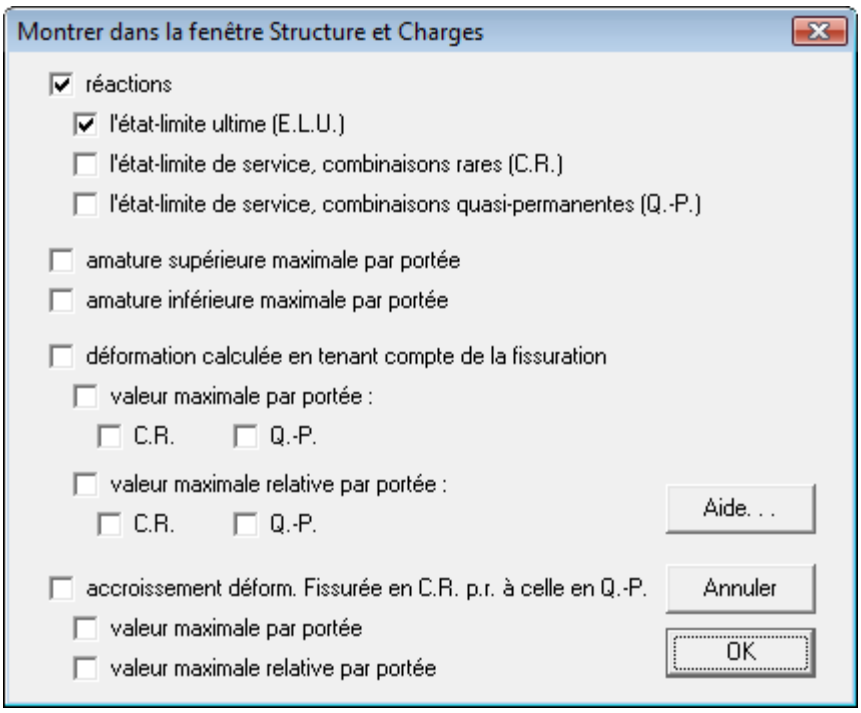

Montrer dans la fenêtre Structure et Charges
réactions
l'état-limite ultime (E.L.U.)
l'état-limite de service, combinaisons rares (C.R.)
l'état-limite de service, combinaisons quasi-permanentes (Q.-P.)
amature supérieure maximale par portée
amature inférieure maximale par portée
déformation calculée en tenant compte de la fissuration
valeur maximale par portée :
C.R.
Q.-P.
valeur maximale relative par portée :
C.R.
Q.-P.
Aide. . .
accroissement déform. Fissurée en C.R. p.r. à celle en Q.-P.
Annuler
valeur maximale par portée
valeur maximale relative par portée
OK

Figure 73: Résultats à montrer

Cliquez sur les différents états pour lesquels vous souhaitez voir apparaître les réactions dans la fenêtre "**Structure & charges**". De plus, vous pouvez demander d'afficher par zone les quantités maximales de l'armature inférieure et supérieure, les valeurs maximales de la déformation (calculée en tenant compte de la fissuration) sous les combinaisons rares et la combinaison quasi-permanente. Vous pouvez aussi demander de montrer ces déformations maximales avec leurs valeurs relatives au longueurs des portées. Enfin, il est possible d'afficher l'accroissement de la déformation sous les combinaisons rares par rapport à celle sous la combinaison quasi-permanente.

10.5. Convention de signes pour le moment et l'effort tranchant

Tout le monde n'utilise pas la même convention de signes pour le moment fléchissant M et l'effort tranchant V. La convention de signes peut être modifiée ou affichée en sélectionnant la commande "**Signes**" dans le menu "**Préférences**". La fenêtre de dialogue vous permet de spécifier votre convention de signes:

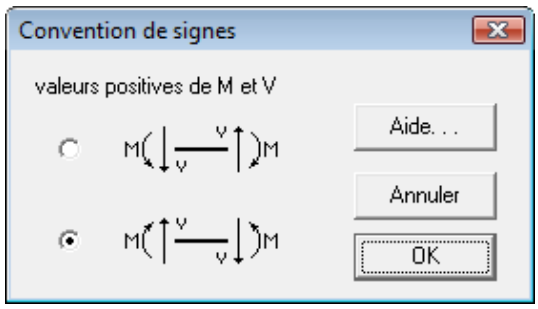


Figure 74: Convention de signes

10.6. Zoom d'un diagramme des efforts dans une zone

Les diagrammes affichés dans la fenêtre "**Diagrammes des efforts**" sont parfois représentés à une échelle trop petite pour déterminer avec précision la valeur de l'une ou l'autre grandeur statique. Pour remédier à ce problème, ConCrete vous permet de faire un zoom sur les diagrammes des efforts.

10.6.1. Effectuer un zoom

Si vous souhaitez effectuer un zoom d'une zone précise d'un diagramme pour afficher plus de détails sur une grandeur statique, cliquez deux fois sur la zone à agrandir dans la fenêtre "**Diagrammes des efforts**". L'écran affiche alors une fenêtre de dialogue (Figure 75) comprenant le détail souhaité.

Dans la moitié inférieure de cette fenêtre, vous voyez le détail du diagramme, ainsi que les valeurs extrêmes et les points nuls. Dans la moitié supérieure de la fenêtre, sont indiquées les valeurs minimales et maximales des efforts et de l'armature principale à l'abscisse affichée. Les valeurs pour la flèche sont les valeurs résultant du calcul élastique. La partie supérieure droite affiche un bouton "**Impr.**" vous permettant de commander l'impression de toutes les données de cette fenêtre.

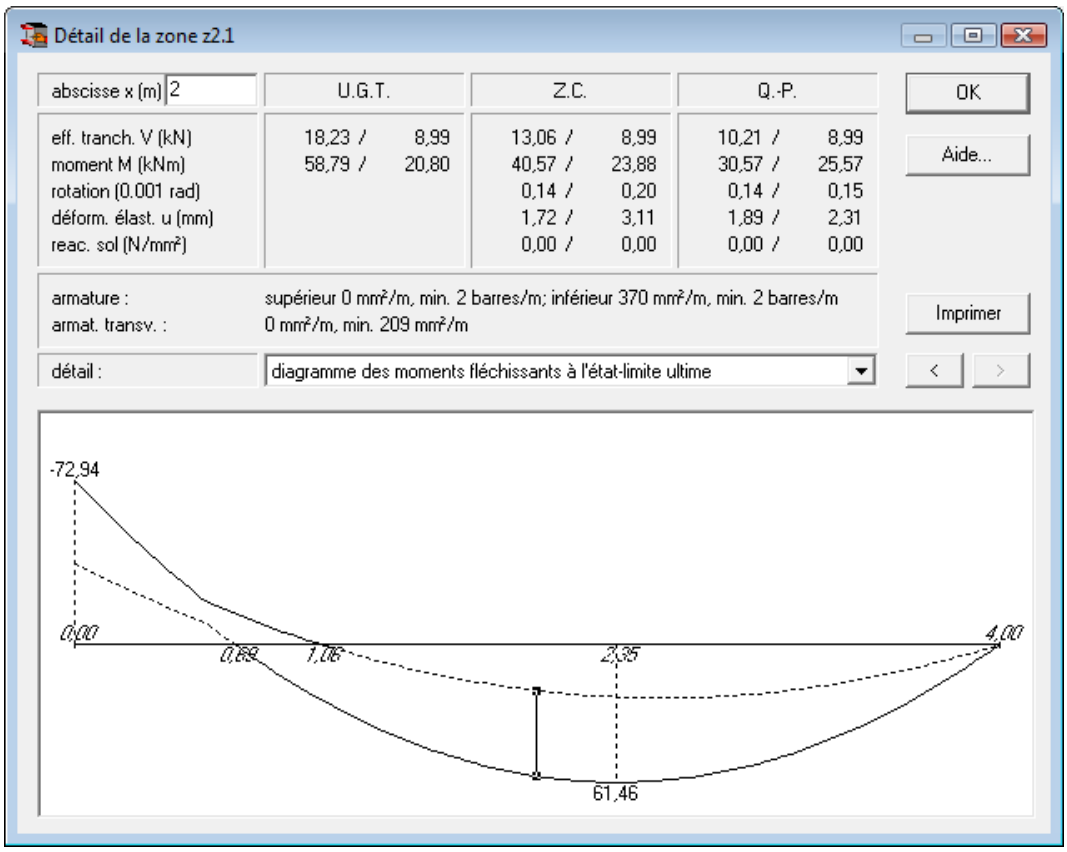

Détail de la zone z2.1
abscisse x (m) 2
U.G.T.
Z.C.
Q.-P.
OK
Aide...
Imprimer
eff. tranch. V (kN) 18,23 / 8,99 13,06 / 8,99 10,21 / 8,99
moment M (kNm) 58,79 / 20,80 40,57 / 23,88 30,57 / 25,57
rotation (0.001 rad) 0,14 / 0,20 0,14 / 0,15
déform. élast. u (mm) 1,72 / 3,11 1,89 / 2,31
reac. sol (N/mm²) 0,00 / 0,00 0,00 / 0,00
armature : supérieur 0 mm²/m, min. 2 barres/m; inférieur 370 mm²/m, min. 2 barres/m
armat. transv. : 0 mm²/m, min. 209 mm²/m
détail : diagramme des moments fléchissants à l'état-limite ultime
-72,94
0,00
0,82
1,06
2,35
4,00
61,46

Figure 75: Détail d'une zone

10.6.2. Passer à un autre diagramme des efforts

Si vous souhaitez effectuer un zoom d'un autre diagramme des efforts d'une zone déterminée, vous ne devez pas nécessairement quitter la fenêtre de dialogue "**Détail**" pour ensuite cliquer deux fois sur un autre diagramme des efforts. Pour afficher un autre diagramme, sélectionnez simplement le diagramme souhaité à l'aide du menu déroulant après le texte "**Détail:** ".

10.6.3. Obtenir les valeurs en à un endroit précis

Si vous souhaitez connaître les valeurs minimales et maximales à un endroit spécifique, il vous suffit d'introduire l'abscisse x de ce point dans la case destinée à cet effet, pour lire immédiatement les valeurs. Seules les valeurs en abscisse qui tombent dans la zone affichée dans le zoom sont répertoriées. La valeur en abscisse est considérée à partir de l'appui gauche de la portée à laquelle appartient cette zone (et à laquelle appartient le point). Dans la Figure 75, nous avions demandé les valeurs du point se trouvant à 2 m de l'appui gauche de la première portée de la poutre "3".

Dans le diagramme, les valeurs sont indiquées avec deux petits carrés (un pour la valeur minimale et un autre pour la valeur maximale) connectés d'une ligne verticale.

Au lieu de taper la valeur en abscisse avec le clavier, nous pouvons également indiquer cette abscisse en cliquant avec la souris sur l'endroit désiré dans le diagramme du détail. La position d'abscisse est inscrit automatiquement dans la case au coin supérieur gauche. Si nous laissons le bouton de la souris appuyé, la valeur dans cette case suit la souris.

10.7. Utilisation du menu "Edition"

Une des principales fonctions qu'offre les interfaces Windows et Macintosh réside dans l'interaction à travers les différents programmes des commandes "**Couper**", "**Copier**", "**Coller**" et "**Effacer**". Tant que l'entrée des données de la poutre n'est pas terminée, ces fonctions ne peuvent être utilisées que dans la case de la barre d'entrée. Vous pouvez ainsi utiliser ces fonctions pour calculer des charges déterminées à l'aide d'un programme de calcul et copier ensuite ces valeurs dans la case de la barre d'entrée. Une fois que l'entrée des données est terminée, les commandes "Copier" et "Coller" du menu "Edition" vous permettent d'échanger des éléments entre différents projets dans ConCrete et/ou dans ConCrete et ConCrete Plus (v. 6.9).

La commande "**Annuler**" n'est pas opérationnelle dans le programme ConCrete.

10.8. Méthode de calcul

Dans ConCrete, le calcul organique est basé sur la méthode aux états limites. Nous avons le choix entre différentes normes. La norme souhaitée est choisie en sélectionnant la dernière commande "**Méthode de calcul**" dans le menu "**Préférences**". La fenêtre de dialogue vous permet de spécifier la norme:

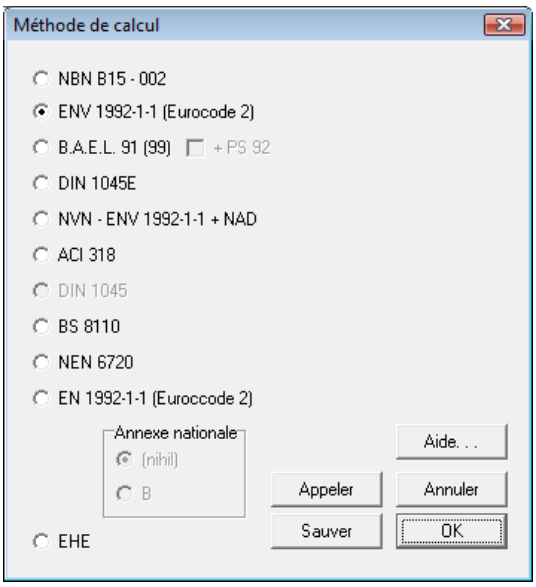


Figure 76: Méthode de calcul

10.9. Vérification

Dans ConCrete, le calcul de la déformée à l'état de fissuration et la limitation des ouvertures des fissures se fait à partir des sections d'armature strictement requises par le calcul. Les résultats de ces calculs nous donnent une bonne idée des résultats à attendre d'un calcul qui tient compte de l'armature réellement prévue. Dans certains cas, l'utilisateur ne sera pas satisfait par ce calcul "rude" à partir des sections théoriques.

Une fois que la poutre est dessinée dans ConCrete Plus, ConCrete vous permet de faire une vérification qui tient compte des armatures réellement prévues. Cette vérification fait le calcul de la déformée à l'état de fissuration sous les combinaisons rares et sous la combinaison quasi-permanente et celui des ouvertures des fissures sous la combinaison quasi-permanente. Si le fluage a été pris en compte dans le calcul "rude", il est également pris en compte dans cette vérification. Il va de soi que toute modification aux paramètres de calcul, sauf le fait de prendre en compte ou pas le fluage pour le calcul de la déformée et des ouvertures des fissures, détruit la choix des diamètres et, par conséquent, la vérification.

Pour exécuter la vérification, sélectionnez la commande "**Vérifier**" dans le menu "**Elément**" ou cliquez sur . Les diagrammes de la déformée à l'état de fissuration (sous les combinaisons rares et sous la combinaison quasi-permanente) et celui des ouvertures des fissures (sous la combinaison quasi-permanente) sont représentés dans la fenêtre "**Vérification**".

10.10. Sauvegarder et ouvrir ses propres valeurs de préférence

Au chapitre 4, vous avez appris comment modifier les différents valeurs des paramètres de calcul et comment les sauvegarder comme valeurs standards. Chaque fois qu'on lance le logiciel, ces valeurs standards sont chargées. Une fois qu'on a sauvegardé des nouvelles valeurs comme valeurs standards, il est impossible de rappeler les anciennes valeurs standards. Par contre, ça peut être utile de pouvoir disposer des différents sets de valeurs standards: p.e. pour faire la distinction entre des poutres et des dalles, entre des poutres préfabriquées et de poutres coulées sur place, entre des projets avec et sans contrôle externe, entre des projets intérieurs et étrangers, etc. ConCrete vous offre la possibilité de sauvegarder les valeurs actuelles dans un fichier séparé par la commande "**Sauver valeurs standards…**" du menu "**Préférences**". Dans la fenêtre du dialogue qui s'affiche à l'écran, vous indiquez le nom du fichier dans lequel vous voulez sauvegarder les valeurs standards. Pour rappeler des valeurs standards préalablement sauvegardées, il faut choisir la commande "**Ouvrir valeurs standards...**" du menu "**Préférences**". Les valeurs standards que vous avez chargées ainsi, restent aussi les valeurs standards quand vous relancez le logiciel après.

10.11. L'environnement de travail de ConCrete

L'environnement de travail de ConCrete peut aisément être adapté aux préférences de l'utilisateur grâce aux barres d'outils paramétrables et mobiles. Vous pouvez librement déplacer les barres d'icônes de ConCrete partout sur votre écran, ou les fixer dans des zones privilégiées le long des bords de la fenêtre de ConCrete. Ce concept est tout aussi applicable aux barres d'icônes qui sont regroupées sur les palettes "**Données d'entrée"** et "**Paramètres de calcul**", qu'à la liste de projet qui organise l'ensemble du projet à l'aide d'une gestion arborescente. Vous pouvez toujours fermer les palettes et les rappeler en sélectionnant la commande "**Fenêtre – Barre d'icônes**".

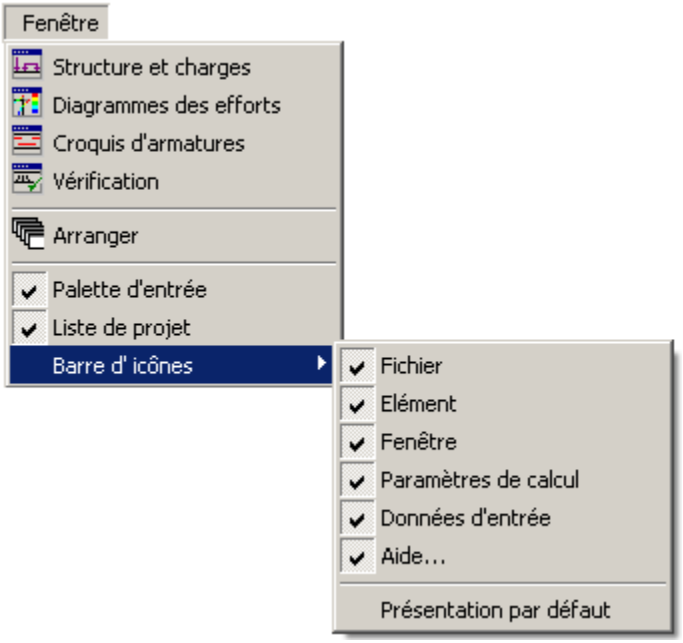


Figure 77: Cacher ou appeler les barres d'icônes

L'option '**Présentation par défaut**' réinitialise la configuration.

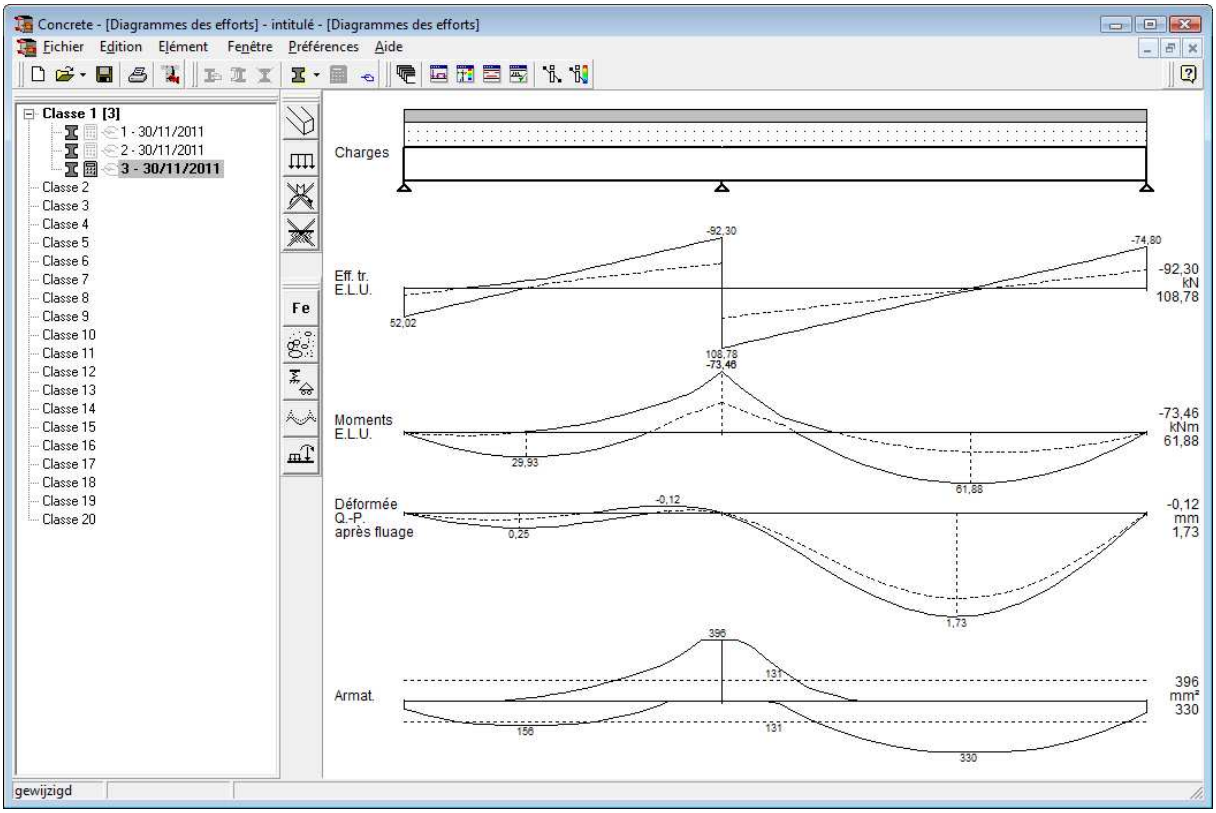


Figure 78: Modifier l'environnement de travail de ConCrete

Remarque: Toutes vos modifications personnelles seront gardées en mémoire de façon à pouvoir reconfigurer de la même façon à la prochaine ouverture du logiciel.

CHAPITRE 11 Aperçu des menus

11.1. Menu "Fichier"

"Nouveau…":	Créer un nouveau projet (voir 2.2)
"Ouvrir…":	Ouvrir un projet existant (voir 8.2)
"Fermer":	Fermer le projet en cours (voir 8.5)
"Enregistrer":	Enregistrer le projet en cours (voir 8.1 et 8.3)
"Enregistrer sous...":	Enregistrer le projet en cours (voir 8.3)
"Préférences enregistrement":	Enregistrer automatiquement (voir 8.4)
"Mise en page...":	Effectuer la mise en page de l'imprimante (voir 9.1)
"Options d'impressions…"	Indiquer les options d'impressions (voir 9.1)
"Imprimer le projet...":	Imprimer le projet en cours (voir 9.2)
"Imprimer la classe...":	Imprimer la classe sélectionnée (voir 9.3)
"Imprimer l'élément...":	Imprimer l'élément en cours (voir 9.4)
"Modifier…":	Modifier les données du dossier (voir 8.6)
"Transfert ConCrete Plus":	Liaison avec ConCrete Plus (voir 10.3)
"Quitter":	Quitter le programme (voir 8.7)

11.2. Menu "Edition"

"Annuler":	Non opérationnel
"Couper":	Voir manuel d'utilisation de Windows ou Macintosh (voir 10.7)
"Copier":	idem

"Coller":	idem
"Effacer":	idem
"Liste des classes...":	Définir les classes (voir 6.2)
"Bibliothèque des hourdis":	Définir des hourdis (voir 7.5)

11.3. Menu "Elément"

"Nouvelle poutre":	Entrer une nouvelle poutre (voir 2.3)
"Nouvelle dalle":	Entrer une nouvelle dalle (idem)
"Nouvel hourdis":	Entrer un nouvel hourdis (idem)
"Modifier":	Modifier l'élément sélectionné (voir 6.4)
"Dupliquer":	Dupliquer l'élément sélectionné (voir 6.6)
"Supprimer":	Supprimer l'élément sélectionné (voir 6.7)
"Calculer":	Calculer l'élément en cours (voir 10.1)
"Vérifier":	Vérifier l'élément en cours à partir de l'armature prévue dans ConCrete Plus (voir 10.9)
"Regénérer":	Regénérer la liste de projet

11.4. Menu "Fenêtre"

"Structure & charges":	Afficher cette fenêtre en avant-plan (voir 2.3 et 2.4.1)
"Croquis d'armatures":	idem (voir 2.3 et 2.4.2)
"Diagramme des efforts":	idem (voir 2.3 et 2.4.3)
"Vérification":	idem (voir 10.9)
"Arranger":	arranger les fenêtres

"Palette d'entrée":	Afficher la barre d'entrée
"Liste de projet:	Afficher la fenêtre Liste de projet en avant-plan (voir 2.2 et 2.3)
"Barre d'icônes":	L'environnement de travail de ConCreteVisualiser (voir 10.11)

11.5. Menu "Préférences"

"Diagrammes à montrer…":	Afficher différents diagrammes des efforts (voir 10.4)
"Résultats à montrer…":	Afficher les réactions dans différents états-limites, les armatures maximales et les déformations maximales par portée (voir 10.4)
"Signes…":	Spécifier une convention de signes pour M et V (voir 10.5)
"Calcul automatique":	Calculer les valeurs immédiate-ment après l'entrée des données (voir 10.1)
"Sauvegarde automatique":	Enregistrer le fichier tous les cinq éléments nouveaux (voir 8.4)
"Sons d'administration":	Sons particuliers lors de l'entrée ou de la modification des données (voir 10.2)
"Tolérances…":	Ecarts de cotes entre ConCrete et ConCrete Plus (voir 10.3)
"Méthode de calcul…":	Spécifier la norme de calcul (voir 10.8)
"Langue":	Choisir la langue

"Ouvrir valeurs standards…":	Appeler un set de valeurs standards (voir 10.10)
"Sauver valeurs standards…"	Sauvegarder les valeurs standards dans un fichier (voir 10.10)
"Paramètres généraux":	Appeler les paramètres généraux

11.6. Menu "Aide"

"Manuel":	manuel
"Envoi courriel à BuildSoft":	Ecrire un mail à BuildSoft
"Réseau…":	Chercher la clé
"A propos de ConCrete…":	Informations relatives au présent programme

CHAPITRE 12 Méthode de calcul

12.1. Calcul statique

Le calcul statique est effectué selon la **méthode des transferts**. Il s'agit d'une méthode de calcul linéaire-élastique mono-dimensionnelle offrant une solution continue en matière de diagrammes des efforts. Ceci signifie donc que la solution obtenue à l'aide du programme ConCrete est une solution exacte en tout point (contrairement à la méthode des éléments finis qui n'offre qu'une valeur moyenne pour chaque élément fini), pour autant que l'hypothèse du calcul linéaire-élastique monodimensionnel soit exacte.

Pour des poutres sur sol élastique, le calcul est effectué de manière exacte à partir de l'équation différentielle. Dans un deuxième stade, cette solution exacte est approchée par une série de polynômes du cinquième degré, déterminée de façon à ce que l'erreur relative reste inférieure à 1%. Pour chaque nouveau polynôme, l'approche part de la valeur exacte; par conséquent, les erreurs relatives ne sont pas cumulées.

Comme décrit au point 4.5, ConCrete vous permet d'apporter une correction au calcul linéaire-élastique sous la forme d'une **redistribution des moments**.

Pour l'élaboration du **diagramme enveloppe**, ConCrete travaille comme suit (voir 4.6). Les **coefficients de charge** favorable et défavorable, ainsi que les **coefficients de combinaison** sont introduits par l'utilisateur. ConCrete recherche alors pour chaque type de charge et pour chaque portée, les portions de poutre sur lesquelles la charge (étant un seul type de charge sur une seule portée) provoque un effet favorable ou défavorable. Pour les portions de poutre sur lesquelles la charge susmentionnée provoque un effet favorable, ConCrete applique le coefficient de charge favorable, et pour les autres portions, le coefficient défavorable.

Pour éviter tout malentendu, il convient de souligner que les valeurs obtenues des diagrammes des efforts tranchants et des moments fléchissants prennent en compte les coefficients de sécurité et de combinaison à l'état limite ultime.

En outre, il convient de faire remarquer que les angles de rotation et les flèches sont calculés de façon linéaire élastique, sauf si nous avons indiqué explicitement l'option "à l'état de fissuration" (voir 10.4). Dans ce cas, les flèches sont calculées comme décrit au point 12.2.2.3. En fonction des valeurs du module d'élasticité introduites, l'utilisateur peut choisir de tenir compte ou non du retrait et du fluage. Dans le cas où le programme calcule lui-même le module d'élasticité en fonction de la résistance à la compression du béton, la flèche calculée est la flèche du béton à l'âge de 28 jours.

Pour des poutres sur sol élastique il est impossible de calculer la déformée à l'état de fissuration. Pour des poutres sur appuis élastiques, ce calcul est tout à fait possible.

12.2. Calcul organique

Le calcul organique est intégralement basé sur le calcul aux **états limites** (**états limites ultimes** (états de rupture) et **états limites de service**), tel qu'il est exposé dans la Prénorme Européenne ENV 1992-1-1 (décembre 1991) (**Eurocode 2**) et repris par la norme Belge **NBN B15-002** ou tel qu'il est requis par la norme Française **B.A.E.L. 91**.

Nous nous limiterons ici à l'explication des particularités de ce calcul. Pour plus de détails, nous vous conseillons de consulter l'Eurocode 2, la NBN B15-002 ou la B.A.E.L. 91.

12.2.1. Etats-limites ultimes

12.2.1.1.Diagramme contraintes-déformations du béton et de l'acier

Pour le béton, ConCrete se base sur un diagramme en parabole-rectangle. La transition entre la parabole et le rectangle est faite au point où la déformation atteint 2‰ (Figure 79). Pour tenir compte de l'effet des charges de longue durée, la valeur de calcul de la qualité du béton f_{cd} est appliquée avec un coefficient de 0.85.

Pour l'acier, ConCrete se base sur un diagramme bilinéaire (Figure 80). Le module d'élasticité de l'acier est considéré égal à $E_s = 200\ kN/mm^2$.

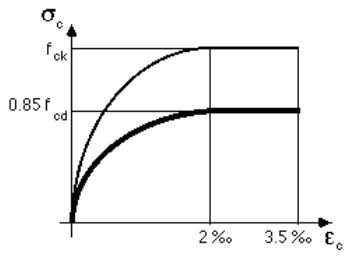


Figure 79: Le diagramme en parabole-rectangle

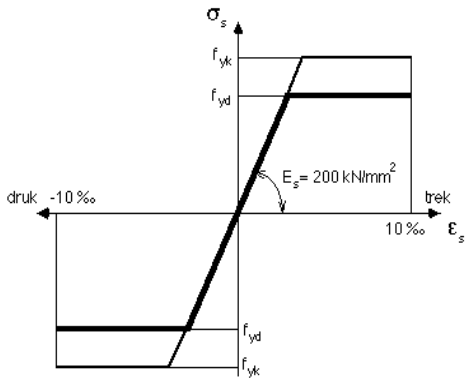


Figure 80: Le diagramme bilinéaire

12.2.1.2. Flexion simple

Le calcul à l'état limite ultime des sections soumises à une flexion simple repose sur les hypothèses fondamentales suivantes:

1) conservation des sections planes avant et après déformation (hypothèse de Bernoulli);
2) chaque armature subit la même variation linéaire que la gaine de béton qui l'entoure;
3) la résistance du béton en traction est supposée nulle;
4) le raccourcissement ultime du béton en compression est égal à 3.5 ‰ (Figure 79);
5) l'allongement ultime des armatures est limité à 10 ‰ (Figure 80);

12.2.1.3. Effort tranchant

Pour les **poutres**, l'armature résistant à l'effort tranchant est déterminée selon la **méthode standard**.

Il convient tout d'abord de contrôler si la contrainte dans les bielles de compression en béton n'est pas trop importante à l'aide de l'expression suivante:

- Eurocode 2 et NBN B15-002:

$$V_{sd} \leq V_{Rd2} = 0.5 \cdot \upsilon \cdot f_{cd} \cdot b_w \cdot 0.9 \cdot d(1 + \cot \alpha) \qquad (1)$$

Avec

b la largeur de l'âme de la poutre exprimée en mm;

d la hauteur utile de la poutre exprimée en mm;

α l'angle que fait l'armature transversale avec l'horizontale;

υ $0.7 - 0.5 \frac{f_{ck}}{200}$ (f_{ck} in N/mm²)

Dans le cas où les étriers verticaux ne suffiraient pas, ConCrete place alors, non pas des étriers inclinés, mais des **étriers en croix** (combinaison des étriers verticaux et des barres horizontales ayant le même diamètre et le même écartement). Dans ce cas-là, le programme prévoit autant d'armatures horizontales que verticales pour résister aux efforts tranchants afin d'être équivalentes aux étriers inclinés à 45° par rapport à l' horizontale , dont la section de ces derniers est supérieure d'un facteur $\sqrt{2}$. Cela signifie que lorsque nous entrons la valeur 1 pour $\cot \alpha$ dans la formule (1), V_{Rd2} constitue la limite supérieure ultime de V_{sd}. Les valeurs de V_{sd} qui dépassent cette limite supérieure, ne peuvent être reprises, pas même avec des étriers en croix.

- B.A.E.L. 91:

$$V_{sd} \leq V_{Rd2} = \tau_{rd2} \cdot b_w \cdot d$$

Avec:

$\tau_{rd2} = 0.2 \cdot f_{cd} \leq 5N/mm^2$ étriers verticaux
$\tau_{rd2} = 0.27 \cdot f_{cd} \leq 7N/mm^2$ étriers en croix

De plus, à l'appui simple d'extrémité, ConCrete Plus vérifie la condition suivante:

$$\frac{2 \cdot V_u}{b \cdot a} \leq 0.8 f_{cd}$$

Avec:

V_u la valeur de calcul de l'effort tranchant qui est égal à la réaction d'appui ;

a la longueur d'appui.

Dans le cas d'un appui de faible largeur, cette contrainte peut être relativement élevée de sorte que ConCrete Plus ajoute des barres horizontaux.

Pour la détermination de l'armature résistant à l'effort tranchant, la valeur V_{cd} qui représente la contribution du béton dans la résistance au cisaillement totale, est donnée par la formule:

- Eurocode 2:

$$V_{cd} = V_{Rd1} = \tau_{rd} \cdot k \cdot (1.2 + 40 \cdot \rho_l) \cdot b_w \cdot d \qquad (2)$$

Avec:

τ_{rd} la valeur de calcul de la résistance au cisaillement du béton, exprimée en N/mm² et déterminée par $\tau_{rd} = 0.25 \cdot \frac{f_{ctk0.05}}{\gamma_c}$, avec $f_{ctk0.05} = 0.7 \cdot 0.30 \cdot f_{ck}^{2/3}$ la résistance caractéristique en traction du béton et γ_c le coefficient de sécurité du béton;

k la longueur d'appui.

ρ_l le pourcentage géométrique d'armatures longitudinales; étant donné que nous n'avons pas encore spécifié de diamètres de barre, nous supposons ρ_l égal au pourcentage déduit de l'armature strictement requise par le calcul.

- NBN B15-002:

$$V_{cd} = V_{Rd1} = 0.12 \cdot k \cdot (100 \cdot \rho_l \cdot f_{ck})^{1/3} \cdot b_w \cdot d \qquad (2')$$

Dans (2') k est déterminé par:

$$k = 1 + \sqrt{\frac{200}{d}} \text{ (d in mm)}$$

- B.A.E.L. 91:

$$V_{cd} = V_{Rd1} = 0.3 \cdot f_{ctk0.05} \qquad (3)$$

Dans (3) signifie

$f_{ctk0.05}$ la résistance caractéristique en traction du béton déterminée par $f_{ctk0.05} = 0.6 + 0.06 \cdot f_{ck} \leq 3.3 N/mm^2$.

La valeur V_{wd} venant de l'armature résistant à l'effort tranchant est déterminée par:

$$V_{wd} = \frac{A_{sw}}{s} \cdot 0.9 \cdot d \cdot f_{ywd} \cdot (1 + cot\,\alpha)\, sin\,\alpha \qquad (4)$$

Avec:

A_{sw} la section des armatures transversales sur la distance s;

s l'écartement horizontal entre les armatures transversales;

f_{ywd} la valeur de calcul de la qualité d'acier de l'armature transversale.

Pour les **dalles**, dans lesquelles aucune armature transversale n'est prévue, il sera uniquement procédé à un contrôle des contraintes de compression dans les bielles de compression en béton. Ce contrôle veillera à ce que la valeur de calcul de l'effort tranchant soit toujours inférieure aux deux valeurs suivantes:

- Eurocode 2:

  $$V_{sd} \leq V_{Rd1} = \tau_{rd} \cdot k \cdot (1.2 + 40 \cdot \rho_l) \cdot b_w \cdot d \qquad (5)$$

  et

  $$V_{sd} \leq V_{Rd2} = 0.5 \cdot \upsilon \cdot f_{cd} \cdot b_w \cdot 0.9 \cdot d \qquad (6)$$

- NBN B15-002:

  $$V_{sd} \leq 1.5 \cdot V_{Rd1} = 1.5 \cdot 0.1 \cdot k \cdot (100 \cdot \rho_l \cdot f_{ck})^{1/3} \cdot b_w \cdot d \qquad (5')$$

  et

  $$V_{sd} \leq V_{Rd2} = 0.5 \cdot \upsilon \cdot f_{cd} \cdot b_w \cdot 0.9 \cdot d \qquad (6')$$

  La première limite supérieure vérifie si nous n'avons effectivement pas besoin d'une armature transversale, la seconde vérifie la contrainte présente dans les bielles de compression en béton (voir (1)).

- B.A.E.L. 91:

  $$V_{sd} \leq V_{Rd2} = 0.07 \cdot f_{cd} \cdot b \cdot d \qquad (7)$$

12.2.1.4. Armature transversale dans les membrures

L'effort tranchant à résister dans les membrures est déterminé par (Figure 81):

$$V_{sd} = \frac{\Delta F_d}{a_v} \qquad (8)$$

Dans (8) signifie:

ΔF_d la variation de l'effort normal dans la membrure sur une distance a_v ;

a_v la distance entre l'endroit du moment zéro et celui du moment maximum.

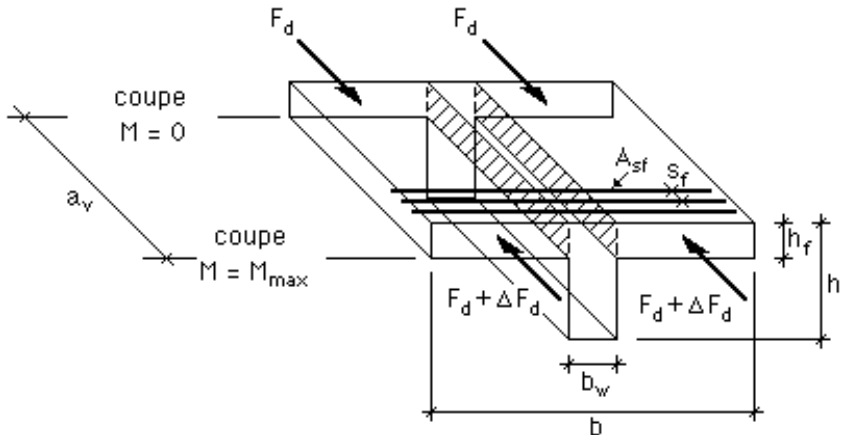


Figure 81: L'effort tranchant dans les membrures

En cas de flexion simple ΔF_d est la résultante des contraintes de compression du béton déterminées par $M_{d,Mmax}$ sur la largeur $0.5(b - b_w)$ et la hauteur de la table de compression h_f.

Il faut que:

$$V_{sd} \leq V_{Rd2} = 0.2 \cdot f_{cd} \cdot h_f$$

et

$$V_{sd} \leq V_{Rd3} = 2.5 \cdot \tau_{rd} \cdot h_f + \frac{A_{sf}}{s_f} \cdot f_{yd}$$

Avec

τ_{rd} la valeur de calcul de la résistance au cisaillement du béton, exprimée en N/mm² et déterminée par $\tau_{rd} = 0.25 \cdot \frac{f_{ctk0.05}}{\gamma_c}$, avec $f_{ctk0.05}$ la résistance caractéristique en traction du béton ($f_{ctk0.05} = 0.7 \cdot 0.30 \cdot f_{ck}^{2/3}$) et γ_c le coefficient de sécurité du béton;

A_{sf} la section de l'armature transversale dans la membrure;

s_f l'écart horizontal entre deux armatures transversales successives.

12.2.2. Etats limites de service

12.2.2.1. Diagramme contraintes-déformations du béton et de l'acier

Pour le calcul aux états limites de service, on suppose les deux matériaux comme étant linéaire-élastique, avec un rapport fixe entre les modules d'élasticité de l'acier et du béton:

$$\frac{E_s}{E_c} = \alpha = constante$$

De nouveau, la résistance du béton en traction est supposée nulle.

12.2.2.2. Limitation des contraintes de compression du béton

A partir des sections d'armature calculées aux états limites ultimes, ConCrete calcule les contraintes de compression du béton. Quand les contraintes de compression du béton dépassent la valeur maximale admissible, les sections d'armatures inférieures et supérieures sont alors augmentées de sorte que les contraintes de compression du béton soient admissibles.

12.2.2.3. Déformation à l'état de fissuration

La déformation à l'état de fissuration à un certain point x_0 est calculée en appliquant le principe des travaux virtuels:

$$y(x = x_0) = \int_0^1 \frac{1}{r} \cdot M \cdot dx \qquad (9)$$

Dans (9) M représente le diagramme des moments fléchissants causé par une charge ponctuelle fictive de valeur 1 à l'endroit où nous cherchons la flèche. L'intégration ne se fait que sur la longueur de la poutre fictive.

La valeur de la courbure 1/r dépend du fait que la section soit fissurée ou non. Une section devient fissurée dès que le moment fléchissant dépasse le moment de fissuration M_r. Ce moment de fissuration M_r est déterminé par

$$M_r = f_r \cdot W$$

Où

- f_r une valeur bien choisie de la résistance à la traction du béton;
- W le moment de résistance de la section fictive non-fissurée.

Pour des sections non fissurées ($M < M_r$) la courbure $\frac{1}{r_1}$ est calculée comme suit:

$$\frac{1}{r_1} = \frac{M}{E \cdot I_1}$$

où E est le module d'élasticité du béton et I_1 le moment d'inertie de la section fictive non-fissurée, c.-à-d. de la section complète du béton, augmentée de α fois la section d'armature requise.

Pour des sections *intégralement* fissurées ($M > M_r$) la courbure $\frac{1}{r_2}$ est calculée comme suit:

$$\frac{1}{r_2} = \frac{M}{E \cdot I_2}$$

où E est le module d'élasticité du béton et I_2 le moment d'inertie de la section fictive intégralement fissurée, c.-à-d. de la partie comprimée de la section du béton, augmentée de α fois la section d'armature requise.

Dans une zone fissurée, il y a des sections fissurées et des sections non fissurées. La courbure moyenne $\frac{1}{r}$ pour une section d'une zone fissurée ($M > M_r$) est calculée comme suit:

$$\frac{1}{r} = (1 - \chi) \cdot \frac{1}{r_1} + \chi \cdot \frac{1}{r_2}$$

avec

$$\chi = 1 - \beta_1 \beta_2 \left(\frac{M_r}{M}\right)^2 \qquad (10)$$

Dans (10) β_1 et β_2 sont donnés par

β_1 = 1,0 (barres à adhérence améliorée),
β_2 = 1,0 pour des charges uniques et momentanées
= 0,5 pour charges d'une longue durée ou répétitives.

12.2.2.4. Calcul des ouvertures des fissures

L'ouverture de fissure caractéristique est calculée comme suit:

$$w_k = \beta \cdot s_{rm} \cdot \varepsilon_{rm}$$

Avec

β = 1,7 (fissuration par chargement),

Et la déformation moyenneε_{rm}:

$$\varepsilon_{rm} = \frac{\sigma_s}{E_s}\left[1 - \beta_1 \beta_2 \left(\frac{\sigma_{sr}}{\sigma_s}\right)^2\right]$$

Avec

σ_s contrainte de l'armature de traction dans une section fissurée

σ_{sr} contrainte de l'armature de traction dans une section fissurée sous le chargement qui cause la première fissuration

β_1 $= 1.0$ barres à adhérence améliorée

β_2 $= 0.5$ (pour des charges uniques et momentanées)

$= 1.0$ (pour charges d'une longue durée ou répétitives).

Et s_{rm} la moyenne de la valeur finale de l'ouverture de fissure:

$$s_{rm} = 50 + 0.25 k_1 k_2 \frac{\varnothing}{\rho_r}$$

Avec

k_1 $= 0.8$ barres à adhérence améliorée

k_2 $= 0.5$ (pour flexion simple)

12.2.3. Armatures minimales

12.2.3.1. Armature longitudinale

Pour le calcul de la déformation en état de fissuration, l'armature longitudinale requise par le calcul, est, si nécessaire, augmenté au pourcentage minimal d'armature ρ_{min}:

$$\rho = \frac{A_s}{(b_w \cdot d)} \geq \rho_{min} = 0.0015$$

Dans ConCrete le pourcentage ρ_{min} peut être modifié par l'utilisateur.

12.2.3.2. Effort tranchant

L'armature résistant à l'effort tranchant provenant de la formule (4), est, si nécessaire, augmentée dans ConCrete au pourcentage minimal d'armature ρ_w par l'expression:

$$\rho_w = \frac{A_{sw}}{(s \cdot b \cdot \sin \alpha)} \qquad (11)$$

Le tableau 2 répertorie les différentes valeurs de ρ_w correspondant aux qualités d'acier et du béton.

	f_{ck} (in N/mm²)	Qualité d'acier		
		S 220	S 400	S 500
Eurocode 2 en NBN B15-002	< 22.5	0.0016	0.0009	0.0007
	$22.5 - 37.5$	0.0024	0.0013	0.0011
	> 37.5	0.0030	0.0016	0.0013
B.A.E.L. 91	$\frac{0.4}{f_{ywd}}$			

tableau 2

Si ConCrete utilise des **étriers en croix**, la valeur de α dans les formules (4) et (11) est égale à 45°. Dans ce cas, A_{sw} est toutefois la section d'armature pour les étriers inclinés à 45°. Si les sections d'armature verticales et horizontales sont équivalentes à $A_{sw\#}$, alors $A_{sw} = \frac{A_{sw\#}}{\sin \alpha}$ dans (4) et (11) de sorte que les formules (4) et (11) deviennent dans le cas d'étriers en croix:

$$V_{wd} = \frac{A_{sw\#}}{s} \cdot 0.9 \cdot d \cdot f_{ywd} \cdot 2 \qquad (4')$$

Et

$$\rho_w = \frac{2 \cdot A_{sw\#}}{(s \cdot b)} \qquad (11')$$

Outre le pourcentage minimal d'armature, ConCrete tient également compte des écartements horizontaux maxima tel que suggéré dans l'Eurocode 2 ou la B.A.E.L. 91. Dans l'Eurocode 2 et le NBN B15-002, ces derniers sont fonction de l'effort tranchant sollicitant. Les valeurs s_1 et s_2 des écartements horizontaux maxima figurant dans le tableau 3.

	V_{sd}	s_1	s_2
Eurocode 2 en NBN B15-002	$< \frac{1}{5} V_{Rd2}$	d	$300mm$
	$\frac{1}{5} V_{Rd2} - \frac{2}{3} V_{Rd2}$	$0.6d$	$300mm$
	$> \frac{2}{3} V_{Rd2}$	$0.3d$	$200mm$
B.A.E.L. 91	$< V_{Rd2}$	$0.9d$	$400mm$

tableau 3

Les valeurs supérieures s_{1b} et s_{2b} de l'écartement transversal s_b entre deux "jambes" sont répertoriées dans le tableau 4.

	V_{sd}	s_{1b}	s_{2b}
Eurocode 2 en NBN B15-002	$< \frac{1}{5}V_{Rd2}$	d	$800mm$
	$\frac{1}{5}V_{Rd2} - \frac{2}{3}V_{Rd2}$	$0.6d$	$300mm$
	$> \frac{2}{3}V_{Rd2}$	$0.3d$	$200mm$
B.A.E.L. 91	$< V_{Rd2}$	$0.9d$	$400mm$

tableau 4

Les valeurs figurant dans les tableaux 12.2.3.2/2 et 12.2.3.2/3 sont également valables pour les étriers en croix.